1845年创刊 132位诺贝尔奖得主撰稿 从爱迪生到比尔·盖茨都喜欢阅读

《科学美国人》享誉全球的科普杂志

环球科学

SCIENTIFIC AMERICAN

《科学美国人》独家授权

2007·3 www.sciam.cn 邮局订阅代号:80-498

- 咖喱医生
- 合作是人类的本能
- 全球变暖 植物无辜
- 数字电视转换难题
- 定做一个蛋白质
- 分蛋糕的学问
- 何必拒绝美食
- 图解卫星广播

宇宙黑手 暗能量

没有人能说清暗能量到底是什么，连爱因斯坦也因为它屡屡推翻自己的结论。它不仅促使宇宙加速膨胀，还会插手星系团、星系和恒星的形成和演化。有一天，它是否会毁灭地球和人类？

SCIENTIFIC AMERICAN 国内统一刊号：CN11-5480/N 国际标准刊号：ISSN 1673-5153

ISSN 1673-5153

定价：12.00元
港币：25.00元
美元：4.50元

FUJITSU

富士通 网络世界创意无限

以逸为形 双核而质

—富士通引领新双核时代

富士通推荐使用 Windows® XP Professional。

全面数据保密，配置指纹识别系统、LifeBook锁、BIOS密码锁、双硬盘密码锁，数据置于固若金汤的保护之下。

人性设计，独一无二的液晶状态栏，让用户对笔记本使用的状态信息一目了然。

广泛扩展功能，独立显卡带来出色3D性能，内置高效Wi-Fi无线连接。

13" 轻薄商务先锋—LifeBook S6311

14" 全能睿智商务—LifeBook S7111

15" 至尊商务典范—LifeBook E8210

采用英特尔®迅驰™双核移动计算技术

LIFEBOOK | 自信 · 无限　免费咨询热线：800 820 8387　欢迎访问：cn.fujitsu.com/pc

intel Centrino Duo

内置英特尔® 酷睿™ 2双核

Celeron, Celeron Inside, Centrino, Centrino Logo, Core Inside, Intel, Intel Logo, Intel Core, Intel Inside, Intel Inside Logo, Intel Viiv, Intel vPro, Itanium, Itanium Inside, Pentium Inside, Xeon 和Xeon Inside 均是英特尔或英特尔所属公司在美国或其他国家的商标/注册商标。
Microsoft 和 Windows 是微软公司在美国和 / 或其它国家分支机构的商标或注册商标。其它商标或注册商标属于他们各自的拥有者。

环球科学 SCIENTIFIC AMERICAN 《科学美国人》独家授权

www.sciam.cn

这个标志表示你现在无法获取信息

即刻点击

环球科学
www.sciam.cn

全球最新科技资讯尽在掌握

■ 权威准确的科学报道

1845年创刊的《科学美国人》是世界上最有影响力的科普杂志，迄今已有132位诺贝尔奖得主选择它展示科研成果、传播科学理念；

2007年，《环球科学》借助强大的顾问委员会，整合优秀翻译资源，呈上更准确、更通俗的科普美文。

■ 更具特色的深度剖析

研究前线的科学家亲自写作，第一时间剖析全球科学的重大突破，表明自己的独特见解与立场，指明科学的发展道路；

2007年，《环球科学》密切关注中国科学界，邀请国内著名科学家撰稿，深入报道中国科学研究的最新成果。

■ 更开阔的科学视野

汇集全球科学资源，与全世界同步见证科学的最新进展，掌握科学发展趋势，成就知识的广度与深度。

美国 | 俄罗斯 | 德国 | 法国 | 捷克

巴西 | 意大利 | 以色列 | 西班牙 | 韩国

印度 | 日本 | 荷兰/比利时 | 波兰 | 全球18个版本传播……

订阅方式

1. 到邮局订阅：邮局订阅代号：**80-498**，可以破季订阅。
2. 向《环球科学》杂志社订阅：
   邮局汇款（汇款时请注明您的姓名、通信地址、邮编、电话和订阅起止时间）
   汇款地址：重庆市渝中区双钢路3号科协大厦1204
   收款单位：环球科学杂志社　　邮编：400013
3. 在网上订阅：www.itbook.com.cn　　www.gotoread.com

月刊/大16开/全彩印刷/单价12元
全年订价144元　半年订价72元

读者服务热线：
023-63658888-16048/12057/12115
E-mail：advice@sciam.cn

CONTENTS

环球科学 SCIENTIFIC AMERICAN
2007年3月号

P16 封面故事 COVER STORY

宇宙黑手暗能量

撰文/克里斯托弗·J·康瑟利斯（Christopher J. Conselice）

暗能量构成了3/4的宇宙，却没有人能说清它到底是什么，甚至在过去很长的时间内，我们对它是否存在都不能确认，就连爱因斯坦，也屡屡因为暗能量而犯错。但暗能量的作用不容忽视：它在幕后操纵宇宙的命运，插手恒星、星系的形成和演化，并引发21世纪最大的科学谜题：如果暗能量越来越强大，会不会撕碎宇宙里的所有天体，毁灭地球和人类？

24 暗能量研究简史

社会学 Sociology

26 合作是人类的本能
撰文/纳塔莉·塞邦斯（Natalie Sebanz）
我们为什么会和他人合作？是需要帮助，还是后天刻意培养的意识？科学家的研究或许会让你大吃一惊：合作是人类的一种本能，早在上古时代，大脑中的镜像神经元和一些神经连接，就会促使我们不由自主地寻求合作。

30 怎样激发团队创造力
撰文/约尔格·梅尔霍恩（Joerg Mehlhorn）
这是创意至上的时代，企业制胜的关键，取决于团队创意竞争力的高低。你所需要的竞争力，不再仅仅是专业知识，而是源源不断的创意能量。激活团队创造力，你需要和我们一起做……

热点追踪 Hot Topic

32 全球变暖 植物无辜
撰文/弗兰克·开普勒（Frank Keppler）
托马斯·罗克曼（Thomas Röckmann）
1千克甲烷产生的温室效应是1千克二氧化碳的23倍，绿色植物却一直在释放甲烷，而且数量不小。这份科学报告引发了全球性的恐慌，“植树造林”受到质疑，许多人要夷平森林、毁去自家门前的草坪。在全球变暖事件中，植物究竟扮演了怎样的角色？我们应该怎样应对？听听科学家们怎么说。

38 围剿碳排放 全球行动计划
撰文/罗伯特·H·索科洛（Robert H. Socolow）
斯蒂芬·W·帕卡拉（Stephen W. Pacala）
控制全球碳排放不再是难题。科学家们将需要减少的碳排放量划分成7个部分，制订对应的减排措施。提高汽车的燃料效率、推广清洁燃料、禁止滥伐森林……只要按部就班，确保每一项措施的落实，就能轻松实现围剿碳排放的目标。

发明前线 Innovations

46 咖喱医生
撰文/加里·斯蒂克斯（Gary Stix）
东方的调料，引起西方医学界的轩然大波。咖喱的主要成分姜黄，原本只在印度医学和中医中偶尔使用，近年来却被西方医学界誉为“植物黄金”：科学家们在试验中发现，姜黄对治疗心血管疾病、糖尿病和癌症有特殊的功效。但也有一些研究表明：姜黄可能会促进肿瘤生长。姜黄到底是治病的良药，还是致癌的毒药？

生物化学 Biochemistry

50 定做一个蛋白质
撰文/克里斯蒂安·E·沙夫迈斯特（Christian E. Schafmeister）
像定做蛋糕一样定做蛋白质！这已经不再是科学家的梦想。他们合成了一种构建单元，可以根据自己编写的计算机程序，按照要求合成特殊功能的人造蛋白，完成天然蛋白质无法胜任的工作。

资源有限，潜力无限。

惠普彩色传真一体机，集打印、传真、复印、扫描四大功能于一身，激发我的无限潜能，助我不断向新的领域拓展业务。它出类拔萃的高速打印、原色复印以及高精度扫描功能，配合惠普原装墨水，让我每次都能体验专业品质输出。更有高效的传真群发、强大的垃圾传真智能过滤及增强的PC传真功能，节省时间和办公成本，有了它，我当然能够以少胜多！

惠普彩色传真一体机　打印 传真 复印 扫描

简约之选
HP DESKJET F388*
彩色打印复印一体机
只需通过简单的设置，即可开始打印报告、扫描旧照片、复印文档，无论您在家还是在小型办公室，都可以轻松完成工作，简单又方便。
¥649

便捷之选
HP OFFICEJET 4308
彩色传真一体机
强大的收发传真功能，手柄电话可实现通话功能，配合打印、复印、扫描功能，是您真正的桌面办公多面手。
¥1199

全能之选
HP OFFICEJET 5608
彩色传真一体机
一站式传真解决方案，带给您高容量自动文档进纸器以及平板式复印、扫描和传真设计，办公更轻松。
¥1499

惠普耗材
订购热线
800 820 2255
轻松享受送货上门！

惠普耗材放心店欢迎您莅临购买。
详情查询 www.hp.com.cn/fxd

登录 **www.hp.com.cn/inkaio**

hp invent

★ 此机型不支持传真功能，仅限打印、复印和扫描。
© 惠普研发有限合伙公司 2007 版权所有。内容如有变更不再另行通知。此图像为虚拟。产品图片仅供参考，实际产品可能略有差异。

经销商：北京(010)明创兴业82872981/82 现代海联82873416 九州峻峰82614572 恒华世纪51290919 兰州(0931)至诚伟业8270512 乌鲁木齐(0991)恒泰永峰5813139 唐山(0315)航信2213311 天津(022)春思23005000 成都(028)新杰85458392 昆明(0871)云南实创电子5163125 重庆(023)华能86602542 沈阳(024)佳业数码62113666-803 惠中普华62126095 济南(0531)伟旭85876266 上海(021)锦利64717192 市鹏62805363 上海市嘉弛(原中钻电子)62944522 伸缩54246761 杭州(0571)宏运88800158 国美数码56775477 南京(025)亚瑞83157088 江苏宏三84723927 王家湾交通科技83152088 福州(0591)奥立威83354600 武汉(027)神码数码87668502 长沙(0731)顺南金悦4135966 广州(020)创思38732859 奥通38499095 深圳(0755)鑫鹏程83780767 信慧鹏83681024

CONTENTS

环球科学 SCIENTIFIC AMERICAN
2007年3月号

P58

P26

P32

P30

P38

古生物学 Paleontology

58 谁屠杀了马达加斯加的恐龙

撰文/雷蒙德·R·罗杰斯（Raymond R. Rogers）
戴维·W·克劳斯（David W. Krause）

2005年，巨大的“恐龙坟场”在马达加斯加发现，整个世界为之震惊：恐龙尸骸层层叠叠地埋葬在一起，构成了壮观的尸骨层。这些7,000万年前的受害者，为何会神秘地集体死亡？它们的尸骨，如何逃脱漫长的岁月侵蚀，保存到现在？看科学家们如何拨开重重疑云，再现7,000万年前恐龙的生活场景，找出“屠杀”恐龙的真凶。

信息技术 Information Technology

66 数字电视转换难题

撰文/迈克尔·安东诺夫（Michael Antonoff）

2009年，美国将全面关闭模拟电视信号；2015年–2020年，中国、日本和西欧各国也将全面迈进数字电视时代。政府、运营商、消费者，谁是这场来势汹汹的全球视听革命的真正受益者？他们如何应对利益博弈引发的角色冲突？

72 追寻硅激光

撰文/巴赫拉姆·贾拉利（Bahram Jalali）

硅芯片技术即将达到极限，这是计算机无法回避的瓶颈。科学家们不得不求助于光学——用光子取代电子来进行运算和存储，这将大大提升计算机的性能。当“天资愚钝”的硅晶体，终于射出了奇妙的激光，借助成熟的硅芯片工艺，使光子计算机的量产成为可能。廉价的光学计算机时代即将来临。

科技史话 History of Technology

80 执著的石英
——石英技术史话(下)

撰文/崔灿

与科学家同行 Insights

82 器官移植教父

撰文/玛格丽特·霍洛韦（Marguerite Holloway）

他是世界上第一个为病人移植肝脏的外科医生，也是首批尝试异种移植的科学家；

几十年前，他倡导使用免疫抑制剂，使器官移植变得可行，现在他又成为坚定的免疫抑制剂终结者。

80岁的斯达泽，最具传奇色彩和最受争议的器官移植教父，下一步将引领器官移植科学如何发展？

抢鲜测试 Tecnicalities

84 踩着电动踏板上街去

撰文/史蒂芬·阿什利（Steven Ashley）

技术解剖 Working Knowledge

86 图解卫星广播

撰文/马克·菲谢蒂（Mark Fischetti）

前沿扫描 News Scan

07 神经干细胞走向临床
08 给大脑植入芯片
09 可食用的棉籽/金钱意识让人自私
10 互联网替代电话网
11 空投火星漫游车
12 宇宙是堆三角形?
13 破译尼安德特人的基因
14 智商差异 先天还是后天?
15 无线充电/火星上的液体水流

专栏 Column

反重力思考 Anti Gravity

88 分蛋糕的学问

撰文/史蒂夫·米尔斯基（Steve Mirsky）

怀疑论者 Skeptic

89 何必拒绝美食

撰文/迈克尔·舍默（Michael Shermer）

专家解答 Ask the Experts

91 为什么猫有内眼睑
91 阿司匹林有哪些副作用

经典回眸 50,100&150 Years Ago

92 皮亚杰的物理学◎巴比伦的税收◎莫比尔的棉花

全球气候变暖，将因您的参与而改变

依照目前趋势，到2100年，北极冰川将在夏季全部融化，数十亿人的家园也将被淹没。在中国，WWF（世界自然基金会）正与各级政府、企业、社团广泛合作，为减少二氧化碳排放、推广可再生能源和能源节约、推动可持续能源发展而积极努力。

成为我们的合作伙伴，共同遏止全球气候变暖，请访问：www.wwfchina.org Tel：8610－65227100

环球科学 SCIENTIFIC AMERICAN 《科学美国人》独家授权

《环球科学》杂志·月刊　1845年创刊的全球品牌·《科学美国人》版权合作

科学的话语体系

本期文章中，提到了美国国立卫生研究院科技发明部的项目主管 Grace Peng 和美国布朗大学电子工程和计算机科学教授 Jimmy Xu（他是世界上第一位发现硅激光的人），这是两位杰出的华人科学家。

为了准确翻译他们的名字，本刊编辑虞骏先生设法分别和他们取得了联系。但两位科学家定居美国的时间太久，电脑无法输入汉字，双方便开始“猜字游戏”：两位科学家用音标注出名字的发音，并用英文简单解释这个词，虞骏将符合条件的汉字做成图片，由对方选出正确的一个。反复多次，终于确定了两位科学家的名字：彭志耀和许竟鸣。许竟鸣先生还审阅了《追寻硅激光》一文，提出了宝贵意见。

这只是《环球科学》编辑工作中非常细微的环节，却不可或缺。在翻译的科学性和准确性上，《环球科学》的要求一向非常严格，也就需要在每一个细节上精益求精。而汉字众多的同音字，使音译的人名很容易“差之毫厘，谬以千里”。同时，从我们的内心来讲，也很不愿意看到优秀的华人科学家，在祖国的刊物上，却以“格雷斯·彭”或“吉米·许”这样别扭而生疏的名字出现。

在这里，英语是一种话语体系，汉语是另一种话语体系，《环球科学》做的，是成为沟通的渠道，精准传神地将一种话语体系转化为另一种话语体系。

而《环球科学》要实现的另一种语言转换，是将科学家的语言准确地转换为大众的语言。去年 11 月底，我在云南抚仙湖畔参加中国科协组织的“遗产保护与社会发展”科学沙龙，和与会专家进行讨论时，专家们一方面希望媒体承担起宣传科学进展的责任，却又担心媒体的不准确报道产生负面的影响。

专家的这种顾虑，似乎并不少见，也因此，我们看到了这样的怪圈：一方面，一些科学家似乎封闭在象牙塔中，公众不知道他所做的研究；另一方面，无法了解这些科学家工作的部分媒体，开始转向“猎奇科普”和“生活百科”的话题，让科学家越发避而远之。话语体系的不同，造成了公众对科学的敬畏和误解，也造成了科学家与公众的隔阂。

不过，优秀的科学家，其实都很愿意向民众介绍自己的研究、传播科学知识，只是苦于缺乏好的平台。这一点，在编辑《环球科学》过程中，我们深有体会。

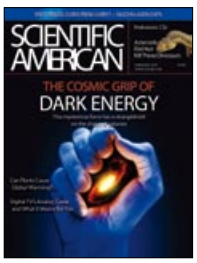
本期《环球科学》，就有一个很好的例子。2006 年初，美国科学家弗兰克·开普勒等人在研究中发现，绿色植物会释放出数量不小的甲烷。要知道，甲烷产生的温室效应是同样数量的二氧化碳的 23 倍！世界各国一直将植树造林作为遏制全球变暖的最佳方法之一，这个研究结果的发布，自然石破天惊。

媒体的大规模报道之后，越来越多的人开始质疑植物对地球的意义，甚至表示要夷平森林、铲除草地。这样的结果，是科学家始料未及的，因此，他们撰写了《全球变暖 植物无辜》一文，在《科学美国人》上发表，澄清植物在全球变暖中扮演的角色。在这里，《科学美国人》的作用，就显得非常重要了：将科学家专业严肃的话语体系，翻译成公众的话语体系，通俗、准确地传播科学知识。

作为《科学美国人》的中文版，《环球科学》一直在努力的，是聚集全球优秀华人科学家的力量，建立科普翻译的行业标准，进而组建新的话语体系，科学家和普通民众可以在这个体系内对话，全球使用英语的科学家和中国的科学爱好者也可以在一个话语体系中轻松对话。

这就是科学的话语体系，也是《环球科学》正在致力建立的科普话语体系。

执行副主编 郭涛



SCIENTIFIC AMERICAN®
Established 1845

Editor in Chief: John Rennie
Editors: Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins, Steve Mirsky, George Musser, Christine Soares
NEWS Editor: Philip M. Yam
Contributing Editors: Mark Fischetti, Marguerite Holloway, Philip E. Ross, Michael Shermer, Sarah Simpson
Art Director: Edward Bell
Vice President and Publisher: Bruce Brandfon
Chairman Emeritus: John J. Hanley
Chiairman: John Sargent
President and Chief Executive Officer: Gretchen G. Teichgraeber
Vice President and Managing Director, International: Dean Sanderson
Vice President: Frances Newburg
“SCIENTIFIC AMERICAN” is a registered trade name owned by SCIENTIFIC AMERICAN, Inc., New York; it is used under license by PCW.

顾问CONSULTANT
周光召(以下按姓氏笔画)
艾国祥　李国杰　张玉台　张厚粲　赵忠贤　钟南山
姚期智　欧阳自远　郭光灿　焦洪波

2007年3月5日出版　总第15期

主管Authorities in Charge
中国科学技术协会
China Association For Science and Technology
主办Sponsor
中国科技报研究会CSSSTP

社长/主编 Editor-in-chief
陈宗周Chen Zongzhou
副社长/副主编 Senior Editor
李永明Li Yongming/李林Li Lin/王寿全Wang Shouquan
执行副主编Executive Subeditor
郭涛Guo Tao

编辑出版PUBLICATION
环球科学杂志社GLOBAL SCIENCE MAGAZINES
社址Address: 北京清华大学同方大厦B楼503室
电话Tel: 010-62770266
重庆运营中心Chongqing Operation Center
重庆市渝中区双钢路3号科协大厦1204
读者热线Tel: 023-63658888-16034

编辑部EDITORIAL DEPARTMENT
编辑Editor
董继平Dong Jiping/褚波Chu Bo
崔月婷Cui Yueting/虞骏Yu Jun
美术编辑Art Editor
陈松涛Chen Songtao
电话Tel: 023-63658852 / 010-62770266
E-mail: letter@sciam.cn

市场总监Marketing Director
刘芳Liu Fang
E-mail: liufang300@163.com

网站总监Web Director
栾璞Luan Pu
网址Website: http://www.sciam.cn

读者服务Reader Service Department
张春Zhang Chun
服务热线Tel: 023-63658888-16048
E-mail: advice@sciam.cn

广告ADVERTISING DEPARTMENT
广告总代理Advertising General Agent
电脑报经营有限责任公司
China Popular Computer Week Management Co. Ltd
广告总监Advertising Director
陈海鹰Chen Haiying
广告热线Tel: 010-62780435　023-63658997
广告信箱E-mail:adv@sciam.cn

发行CIRCULATION DEPARTMENT
发行总经销Chief Distributor
电脑报经营有限责任公司
China Popular Computer Week Management Co. Ltd
发行总监Circulation Director
赵晓岚Zhao Xiaolan /吴永强Wu Yongqiang
发行经理Circulation Manager
谢磊XieLei
发行热线Tel: 023-63658888-12115
传真FAX: 023-63658769

印刷：重庆建新印务有限责任公司
如发现本刊缺页、装订错误和损坏等质量问题，请在当月与本刊读者服务部联系调换(请将坏书寄回)。

2006年1月创刊·每月5日出版
国际标准刊号：ISSN 1673-5153
国内统一刊号：CN11-5480/N
邮局订阅代号：80-498

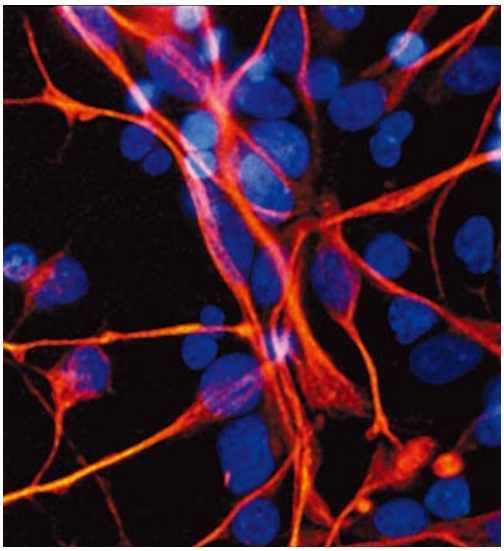
《环球科学》杂志，内容系科学美国人杂志社独家授权。版权2007属科学美国人杂志社、环球科学杂志社和重庆电脑报经营公司，未经书面许可，本刊任何部分均不得以机械、拍照、电子或录音形式翻印，也不允许存储于检索系统，或通过转载及其他复制方式提供给公众或私人使用。

干细胞

神经干细胞走向临床

如果获得批准，针对慢性缺血性脑中风的胚胎干细胞疗法将在今年展开临床试验。

撰文/查尔斯·Q·蔡（Charles Q. Choi）



■正在培养的神经干细胞（蓝色为细胞核）已经分化，并产生了名为β3-微管蛋白（红色）的黏性蛋白。利用这类细胞进行的治疗研究，正大步走向临床试验阶段。

英国吉尔福德市的干细胞公司ReNeuron，在2006年12月向美国食品与药品管理局（FDA）提交了一份临床试验申请。如果获得批准，世界上首次针对主要脑功能障碍和慢性脑中风的干细胞疗法临床试验，就有可能在今年启动。这表明，干细胞疗法不仅在数量上增长迅速，人们用干细胞治愈疾病的雄心也越来越大。

罹患慢性中风的病人会长期忍受身体虚弱的痛苦。这种疾病令全世界2,500万人在痛苦中挣扎，而且由于人口老龄化问题日益严重，新发病例还在以每年7%的速度增长，已经成为发达国家中导致成人残疾的首要原因。美国加利福尼亚大学圣迭戈分校的神经生物学家尤斯廷·日温（Justin Zivin）表示：“人们对于治疗慢性脑中风几乎无计可施，目前的方法都只能治标，而不能治本。”

干细胞具有再分化为身体各个器官的潜能。此前在动物身上进行的脑中风研究表明，注射入大脑或血管内的干细胞可迁移至受损部位，就如同接收到受损细胞的求援信号一样。ReNeuron公司的合伙创始人兼首席科学官约翰·辛登（John Sinden）解释说，发生这种迁移的原因在于，受损细胞启动了修复机制，这一机制与胚胎发育过程中触发的某些机制十分相似，而干细胞恰好在后者中扮演着关键角色。

对于干细胞，人们的主要顾虑在于，它们能否在实验室环境下稳定地分裂增长。ReNuron公司利用基因工程技术，使干细胞携带了一种经过改造的c-myc基因。当其他防止染色体出现异常的基因处于激活状态时，c-myc基因就能促进细胞分裂，得到大量稳定的细胞系。科学家可以通过引入或去除一种人工合成的化合物，来打开或关闭c-myc基因。

ReNuron公司从一个美国细胞库中得到了人类胎儿脑组织，并把改造过的c-myc基因插入这些组织，培养出了用于治疗脑损伤的细胞。他们对120株神经干细胞系进行了筛选，在实验室中检测了它们的稳定性和活性，在动物体内检测了它们引发的免疫排斥反应，挑出最稳定、最有活性、排斥反应最小的细胞系。他们最终选定了两株最具潜力的细胞系，分别是ReN001和ReN005。ReNuron公司正利用前一种对付中风，后一种则用来治疗亨廷顿病，不过目前尚处于研究阶段。

动物实验研究表明，ReN001可以显著改善中风小鼠的感觉和运动功能。辛登解释说，干细胞似乎并没有取代中风过程中损失的大量脑细胞，而很可能是释放出一些化学物质，激活了修复机制，进而导致血管和脑细胞的重新形成。

I期临床试验的目的，在于检测这种疗法的安全性，并对它的有效性进行初步评估。

对抗巴藤病

一些公司已经启动了临床试验，检验干细胞疗法在修复骨骼、缓解冠状动脉疾病、预防移植并发症以及其他方面的效果。但是，在中枢神经系统治疗方面，2006年仅有一家公司进行了临床试验。这家公司就是位于美国加利福尼亚州帕洛阿尔托市（Palo Alto）的StemCells公司。该公司的I期临床试验为6名患有巴藤病的儿童注射了干细胞。这种疾病是一种罕见的致命神经退行性疾病。尽管对这种疗法的完整评估还须耗时数月或数年，但第一位接受治疗的儿童的父母在2006年12月报告，他们的孩子在语言方面已经出现了轻微改善，而且没有再出现癫痫症状。

一旦获得批准，美国匹兹堡大学的研究人员就会在 10 名患有慢性缺血性脑中风的病人身上，试验这种治疗方法。这种疾病是最常见的脑中风，是由血凝块阻塞血管引起的。在试验过程中，研究人员将通过患者颅骨上的一个小孔，把 1,000 万到 2,000 万个细胞直接注入大脑，并对病人的情况持续监测至少 24 个月。ReNeuron 公司已经与英国苏格兰格拉斯哥市的 BioReliance 公司展开合作，以扩大细胞的生产规模。据辛登估计，公司目前已经拥有大约 100 万剂 ReN001。

在以前针对慢性脑中风患者的一些干细胞疗法临床试验中，使用的细胞都来源于人类肿瘤和胎猪的大脑组织，而 ReNeuron 公司使用的则是人类胚胎干细胞。日温指出，这些细胞“与以前使用的细胞相比，更接近于健康人的神经元，因此可能会更加有效”。美国哈佛大学医学院的肖恩 · 萨维茨（Sean Savitz）补充说：“ReNeuron 公司构建这株细胞系的举动，既是雄心勃勃的表现，也是深思熟虑的结果。”不过他也指出，c-myc 基因不仅与干细胞及发育有关，还与癌症有关。“这绝不是说，该基因会促进肿瘤生长”，不过研究人员“应该继续努力说服科学界，让他们相信这些细胞不会像在肿瘤中那样，不受抑制地疯长。” SA

（译 / 冯志华　校 / 虞骏）

神经技术

给大脑植入芯片

用于记忆修复的大脑芯片，即将进入活体测试阶段。

撰文/安娜 · 格里菲思（Anna Griffith）

用计算机辅助大脑功能，一直是科幻作品津津乐道的主题。现在，科研人员已经在大脑移植芯片的研究领域取得了一些进展。今年春天，美国南加利福尼亚大学的一个研究小组，也许能够实现这一梦想，用神经假体 (neural prosthesis) 代替大鼠损坏的脑组织。

过去几年来，研究人员已经展示了这样的能力：直接读取其他动物的思维，并将它们翻译成相应的动作指令。2000 年，美国杜克大学的神经科学家米格尔 · 尼科莱利斯（Miguel Nicolelis）给猴子插上了电极，让它直接用思维控制一个机器手臂。德国图宾根大学的神经科学家尼尔斯 · 比尔鲍默（Niels Birbaumer）则开发了一套脑–机界面，已经帮助一些瘫痪病人用脑波移动光标，选择合适的字母来表达信息。

美国南加利福尼亚大学的西奥多 · W · 伯杰（Theodore W. Berger）及其同事，已经开发出一套脑–机界面，首次实现了机器向大脑的信息传输。2006 年 1 月，他们用硅芯片模拟了大鼠海马体组织切片的生物神经元。海马体是脑中记忆分类和储存的中心。这块芯片可以处理输入的神经信号，与真正的组织切片相比，芯片输出信号的准确率高达 90%。用这块芯片替换海马体中手术切除的部分，就能恢复海马体的功能。

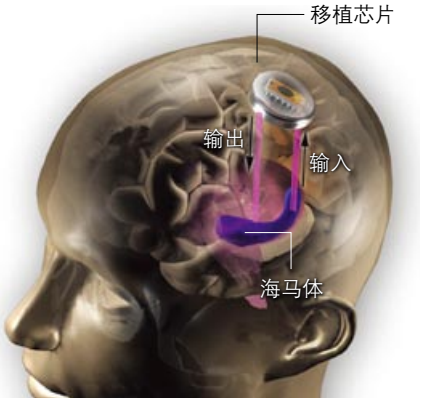
生物医学工程师几年来一直跃跃欲试，打算在海马体切片上测试芯片，但研究中遇到的障碍让他们放慢了脚步。已有的电极阵列技术无法在组织切片上充分发挥作用，研究人员不得不自己设计电极。在进行海马体切片时，恰到好处地保留完整的神经通路也绝非易事。

制造一块 1 平方毫米的芯片，需要花费上万美元和好几个月的时间，因此定于今年春天进行的测试不会使用真正的芯片，而是依赖于这种芯片的一个模型。确切地说，这是一个更大的、能够与电脑相连加以重新编程的设备——现场可编程门阵列（FPGA）。FPGA 让研究人员可以方便地测试和改进数学模型，更好地模仿大鼠神经信号的交流，然后再将这一模型嵌入芯片。美国维克森林大学生理及药理学教授萨姆 · 戴德维勒（Sam Deadwyler）及其同事已经证明，用某种特定的活动模式来刺激大鼠的海马体，就能提高大鼠在记忆测试中

神经语言

为了设计大脑芯片，美国南加利福尼亚大学的西奥多 · W · 伯杰先对神经元的信息交流进行了细致深入的研究。20 多年来，他用不同的电刺激模式，探查大鼠海马体组织的神经元，并记录它们的反应，从而建立了神经元行为模式的综合数据库。他的同事瓦西利斯 · 马尔马雷利斯（Vasilis Marmarelis）和约翰 · 格拉纳奇（John Granacki）则开发出一套数学方程，为神经元的行为模式建立模型，还将数学方程转化为计算机的硬件语言。

如果动物试验取得成功，研究小组的第一块人体植入芯片，将被植入猴脑。用猴脑代替人脑的原因在于，研究人员无法安全地记录人脑神经元的活动，也就无法建立模型，描述人类特有神经语言。尽管猴子并不是理想的动物模型，但研究人员推测，猴脑植入芯片应该会有良好的表现，因为可编程的芯片能够适应人类的思维，或者大脑能够学会使用芯片，就像大脑能够学会用人工耳蜗（cochlear implant）接收外部世界的声音信号一样。



■**强化大脑：**如果在大鼠活体试验中取得成功的话，有朝一日，能够与海马体交流信息的植入芯片，也许可以恢复或提高人的记忆力。

的表现。例如，大鼠能够更好地记住，拉哪根操控杆才能喝到水。如果这个模型准确无误，那么植入芯片就能恢复因药物诱导而失忆的大鼠的记忆力。

美国南加利福尼亚大学的物理学家阿曼德·坦圭（Armand Tanguay）提议，对于更复杂的动物模型，可以使用多芯片模块（multichip module）来促进信号的转换。光束可以在多个芯片层的神经元单位间传递信号。与电路不同的是，光束可以直接穿过一个个神经元单位，而不会受到干扰，可以形成更多的相互连接。结果就是，硅芯片之间的光信号网络，可以模拟密集的神经网络。

美国国立卫生研究院科技发明部的项目主管彭志耀（Grace Peng）指出："随着研究从体外环境转入大鼠体内，研究人员将会遇到许多挑战。"事实上，就连这个研究小组也无法确定，他们会在活体实验中遇到什么状况。美国南加利福尼亚大学的化学家马克·汤普森（Mark Thompson）指出，为了防止免疫系统的排斥，也许要把细胞黏附分子固定在芯片上，让植入芯片的外表看起来类似于老鼠自身的组织。而神经可塑性，或者说大脑辨认自身神经连接的能力，则会阻碍神经元和芯片之间形成稳定连接，为科研人员设下了另一道难题。不过彭志耀乐观地指出："在其他应用领域，比如运动控制和感知方面，大脑的可塑性和适应性通常有利于人工界面发挥功效。"

如果这样的植入芯片展开人体试验，也许还会引起另一种担忧：将芯片植入大脑，在绕开海马体中受损神经元的同时，会不会也绕开了大脑中其他区域的神经连接呢？比如那些负责筛选我们记忆的脑区一旦被绕开，会不会让大脑失去删除记忆的能力呢？果真如此的话，移植芯片就真的成了"令人难忘"的设备了。SA

（译/周林文 校/虞骏）

遗传学

可食用的棉籽

撰文/尼基尔·斯瓦米纳坦（Nikhil Swaminathan）

■基因沉默可以使通常有毒的棉籽变得可以食用。

在约瑟夫·海勒（Joseph Heller）的小说《第二十二条军规》里，富有商业头脑的食堂管理员米洛·明德宾德（Milo Minderbinder）栽在了一堆无法脱手的埃及棉花上。他想了个妙计：给棉花裹上巧克力供士兵们食用，就能处理掉这批存货。即使不在乎满嘴棉花，这也绝不是什么明智的主意，因为棉籽里含有毒性分子——棉酚（gossypol）。不过，美国得克萨斯农工大学的研究人员找到了一种种植棉花的方法，可以让棉籽不再产生棉酚。他们宣称，这项发现每年可以为5亿人提供高蛋白的食物供应。这些研究人员使用了RNA干扰技术，让棉籽中负责制造棉酚的基因不再发挥作用。不过这种基因沉默是否有效，还必须通过温室以外的实地栽种实验加以确定。这项研究发表在2006年11月28日的《美国科学院院刊》上。SA

（译/贾明月 校/虞骏）

心理学

金钱意识让人自私

撰文/席亚拉·柯廷（Ciara Curtin）

钱能激励人们努力工作，也会助长自私行为。这样的结论也许并不让人感到意外，不过美国明尼苏达大学的心理学家最近却发现，仅仅是想到金钱，就会让人更不愿意帮助他人。研究人员先向一些自愿者出示与钱有关的单词，例如"薪水"，或向他们展示一幅印有钞票的海报，在他们的潜意识中唤起金钱意识。另外一些自愿者则被示以游戏币或者无关金钱的中性物品。接下来，所有自愿者都被安排了不同的测试任务，这些任务与钱无关，却能评估他们在社会生活中的行为。结果发现，即使只是在潜意识中想到了金钱，一个人也会变得更不愿意帮助别人。研究还发现，一个人想着金钱时，即使面对困难，甚至面对不可能解决的难题，他们也不愿意寻求帮助。这项研究发表在2006年11月17日的《科学》杂志上。SA

（译/王栋 校/虞骏）

信息技术

互联网替代电话网

英国电信公司打算将公共交换电话网全面替换成网络电话，是天才创意，还是头脑发昏?

撰文/温迪·M·格罗斯曼（Wendy M. Grossman）

■英国电信公司的公共交换电话网，将被IP电话网络取代。

从现在开始，到2011年之前，英国电信公司将拿出100亿英镑（约合1,500亿元人民币），用一套基于互联网协议（Internet protocol，缩写为IP）的网络，取代目前为2,200万用户服务的整个公共交换电话网。这个项目的代号为21CN（21世纪网络的缩写），是世界上所有同类项目中规模最大的一个。2006年11月28日，这家公司在威尔士加的夫市的一个电话局，开始了21CN的首次试点运行。该项目的首次公开展示计划于2008年开始。

巨额的花费和庞大的规模意味着，这个项目的赌注很大。那么，这到底是天才的创意，还是头脑发晕呢？掌管21CN项目的公司发展项目主管拉尔夫·科克拉内（Ralph Cochrane）指出，两种说法都有。他说："我认为我们正逐步证明自己没有发疯。"有些公司已经达到了英国电信公司的部分预期目标，例如意大利电信公司就拥有一套基于IP的长程骨干网。不过科克拉内也声称："还没有其他哪一家公司打算废除自己的整个电话网，全面转向崭新的、基于IP的网络电话系统。"

互联网协议最初的设计目的，就是高效传输数据。传统电话网在通话时，需要开设一条专用的传输线路，而且不能挪作他用，而IP网络电话就不是这样。它把电话的语音数据拆分打包，经由互联网独立传输，再在目的地集合还原。这样一来，同样的带宽就可以容纳更多的电话。互联网协议已经为Skype、Vonage和其他VoIP运营商铺平了道路。（VoIP指的是利用互联网协议传输语音，也就是网络电话的缩写。）

按照科克拉内的说法，英国电信公司下决心实行转变的原因在于，不同的网络越来越多，统筹管理起来太过复杂，也太过昂贵。以往，每当一项新技术（DSL，ISDN）出现，或者一个特殊部门（例如银行）打算开展一项特殊业务时，每家电信业巨头都需要各自建造新的专用网络。目前英国电信公司就拥有16个遍布全国的网络，其中包括语音、ISDN、DSL，以及租用线路等。

用几百个多业务网络接入系统（multi-service access node，缩写为MSAN，即可以控制所有类型连接的硬件设备）取代今天成千上万种不同的转换设备，英国电信公司的21CN可以把所有网络统一成一个。举例来说，DSL可以获得的带宽依赖于用户的数量，而租用线路的带宽和服务却能得到保证。在21CN中，两者之间的差异可以通过软件来确定，并通知MSAN应该提供何种类型的服务。唯一不会发生改变的，就只有将交换机和千家万户连接起来的铜导线。随着人员和业务活动的改变，新网络每年将为英国电信公司节省10亿英镑（约合150亿元人民币）。

在新网络中，所有的电话都会连接到MSAN。拿起电话筒，最近的MSAN就会给40个电话服务器中的一个发送一条消息，它将提供拨号音，并接收所拨号码。如果第一个

ISP的新机遇

英国Demon网络公司是一家网络服务运营商。该公司的公共政策分析专家克莱夫·费瑟（Clive Feather）指出，英国电信公司全面转向IP系统，可能为网络服务运营商（ISP）开创新的机遇——他们也可以开展电话业务了。费瑟还说："我们早已拥有了英国电信公司将要开通的电话服务器。"因此，Demon公司可能会出售语音服务。随着多种电话服务可以方便利用，人们会自动在不同的电话服务之间切换，选择相同时间内资费最低的服务，或者将私人通讯与商业活动区分开来。

服务器无法处理这个号码，它就会联系另一个服务器处理这通电话，但是组成语音的数据包本身将在 MSAN 之间直接传送。

传统 VoIP 的缺点是语音质量差。但是科克拉内说，21CN 建立在一个被称为多协议标签交换（MPLS）的标准之上，这个标准的本质就是，根据合并在数据头中的标签来传输数据包。对语音呼叫或电视节目而言，标签会让网络毫不延迟地传送数据包，即使丢失了一些也无关紧要；而对电子邮件来说，标签可能会提示："并非急件，但是一个包都不能少。"这种系统，再加上数据传输不会发生堵塞的高品质 IP 连接，可以确保 21CN 毫不逊色于老式电话网。

在加的夫进行的首次试验，只涉及一个电话局和几百条电话线路，英国电信公司报告说，目前一切正常。今年 4 月即将展开的一项规模更大的试验，会将几个地方连接成网。它将揭示，从传统公共交换电话网全面转变为 IP 网络电话，到底是天才的创意，还是头脑发晕。

（译 / 耿小兵　校 / 虞骏）

空间探测

空投火星漫游车

美国宇航局设计出一种新颖的火星着陆方案。

撰文/乔治·马瑟（George Musser）

汽车广告商总是把他们的汽车放在最不可能出现的地方，比如悬崖边上、岩柱顶端或沙漠中心。但是与美国宇航局（NASA）的计划相比，上面的所有创意都不值一提。NASA 计划在 2010 年，将一辆迷你库珀车（德国宝马公司出产的一种小型家用车，在欧美相当流行）放到火星上去。更准确地说，这是一辆大小和重量都与迷你库珀车差不多的火星漫游车。NASA 还打算用一种航天史上前所未见的着陆方式，把漫游车安全地送上火星。先用类似高超音速飞翼一样的着陆舱，带着漫游车飞向着陆地点；然后在着陆点上空盘旋，用一根长绳将漫游车放到地面上。另一辆漫游车的建造者、欧洲航天局（ESA）的豪尔赫·巴戈（Jorge Vago）评价说："这套系统非常酷！"

促使工程师设计出如此大胆、并且存在争议的着陆方案的原因，是价值 15 亿美元的火星科学实验室（Mars Science Laboratory，缩写为 MSL）的庞大尺寸。目前正在火星上漫游的勇气号和机遇号火星车只有手推车大小，MSL 的重量却是它们的 4 倍以上。装载 MSL 的密封舱宽 4.5 米，甚至比阿波罗登月任务时的指令舱（3.9 米）还要大。美国喷气推进实验室（JPL）的亚当·施特尔茨纳（Adam Steltzner）指出："MSL 将成为有史以来，进入行星大气层的最大的隔热防护装置。"正是施特尔茨纳领导的一个攻关小组，为此次火星探测任务设计了从进入大气、降低高度到着陆火星的整个过程。

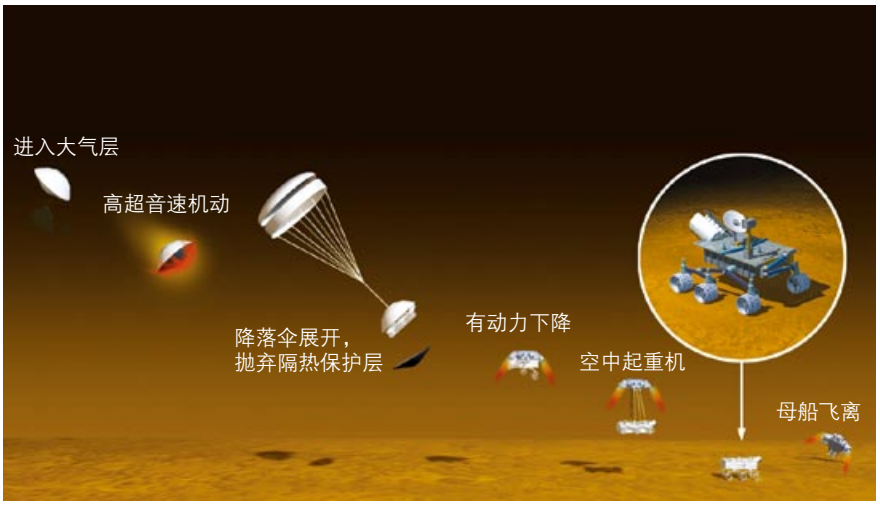
勇气号和机遇号着陆火星时，只需要切断它们的降落伞，巨大的气囊会保护着它们在火星表面上弹跳，最后安全落地。如果 MSL也采用相同的着陆技术，那么它必须配备的超大型安全气囊就会塞满整个密封舱，根本容不下其他的科学设备。使用着陆架落地则会遇到另外一些问题。用腿支撑的着陆器容易倾倒，制动火箭系统也必须长时间点火，会在着陆地点掘出一个大坑，搅起令人窒息的灰尘。发动机还必须在恰当的时刻关闭，这就必须用到极其灵敏的触地传感器。NASA的调查人员怀疑，1999年火星极地着陆器坠毁的原因，可能就是一个敏感的传感器过早关闭了发动机。

MSL 的着陆方案似乎绕开了这些问题。漫游车的母船其实是一个巨大的喷气背包。当它靠近火星地面时，喷气背包就会点火，在 20 米的高空盘旋。此时它就用一根

改进安全气囊

NASA 的火星科学实验室，并不是正在计划中的唯一一辆超重漫游车。欧洲航天局计划在 2013 年发射价值 10 亿美元的 ExoMars 漫游车，它将携带一套钻井平台，用来寻找火星地下可能存在的生命。ExoMars 并不比勇气号和机遇号大多少，但即使如此，它仍然超过了目前安全气囊技术的承重极限。项目科学家豪尔赫·巴戈说，研究小组正在研究一种新型气囊，能在着陆瞬间放气，吸收撞击产生的冲击力。这种方法所需的气囊更少（只要安装在着陆器底部）。关键在于，要让气囊快速破裂，使漫游车不会再反弹起来。目前一共进行过 5 次下落测试，在其中的两次实验中，一些本该导致气囊破裂的负重并没有把气囊压破。

7.5 米长的凯夫拉尔绳索将漫游车吊下来，然后缓缓下降，速度接近人类步行。如果下面吊着的漫游车开始摇摆，母船只须横向移动就可以抵消晃动。这种着陆方式根本不需要触地传感器——一旦漫游车着地，母船维持高度所需的火箭推力就会骤减，它就会记录“货物已经送达”。此时，爆炸装置会炸断绳索，母船则耗尽燃料，坠落在几百米外。这套着陆系统的设计灵感来自于西科尔斯基（Sikorsky）的一款货运直升机，为了表达敬意，这套系统便用这款直升机的名字命名，被称为“空中起重机”。



■火星科学实验室的新颖着陆过程，包括高速空中机动和一种用绳索吊挂漫游车的“空中起重机”系统。

美国喷气推进实验室的罗布·曼宁（Rob Manning）承认：“有些人认为这套方法太骇人听闻了。”他是 NASA 火星探测计划的首席工程师，也是前几次火星漫游车探测任务的技术功臣。这样的想法并不奇怪，因为空中起重机系统从未在太空中尝试过，工程师也无法在地球上进行完整测试，因为这里的重力和气压都与火星大相径庭。不过别忘了，勇气号、机遇号、海盗号和过去的其他火星探测器，也一样没有经过完整的着陆系统测试。当时的成功，取决于工程师建立模型的智慧，今天也没有什么两样。

这项技术关系到 MSL 探测计划的成败，但绝不仅止于此。如果找不到将更多设备放到火星表面的方法，更加雄心勃勃的计划，例如火星采样返回，就不可能实现（更别提火星汽车广告了）。巴戈说：“接下来的每一项计划，都会让我们向着星际旅行之梦，更近一步。” SA

（译 / 陈蕊　校 / 虞骏）

物理学

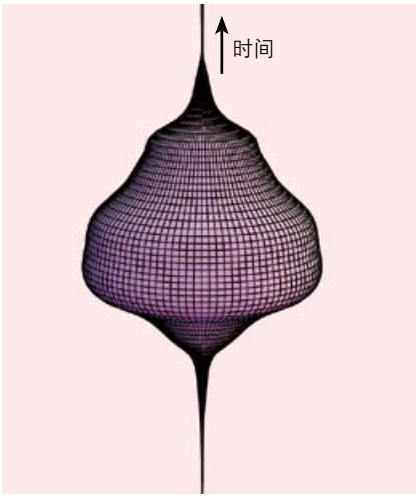
宇宙是堆三角形？

构成宇宙的最基本结构也许不是弦，而是四维空间中的三角形。

撰文/马克·阿尔珀特（Mark Alpert）

请想象一个由大量微观三角形结构组成场景，这些三角形不停翻滚，排列组合成全新的模式。从远处看，这个场景中的一切表面似乎都很光滑；但是近距离观察就会发现，其中的一大堆几何图案，不停地搅动成各种奇形怪状的结构。这个看起来非常简单的模型，就是一种所谓“因果性动力学三角剖分”（causal dynamical triangulation，缩写为 CDT）理论的核心，它有望解决长期困扰物理学的那个最重要的问题——统一引力和量子力学。

20 多年来，在对引力和量子力学统一理论的追寻和探索中，弦理论（string theory）一直走在前列，它假设基本粒子和基本力都是微小的能量弦。但是一些科学家声称，这一理论具有误导性，因为它将弦置于一个固定的背景之中；一个更好的模型，不仅应该产生粒子和相应的作用力，还应该生成供它们活动的舞台——时空本身。在 20 世纪八九十年代，这些研究人员发展出了圈量子引力理论（loop quantum gravity，缩写为 LQG），将时空描述成只有 10^{-33} 厘米大小的微小体积元构成的网络。尽管这一理论已经取得了一些重要成果，比如预言



■由因果性动力学三角剖分理论创造的宇宙模型，可以再现标准宇宙学理论的一些特征，例如空间随着时间的膨胀和收缩。

了黑洞的某些性质，但它还没有通过一个最基本的检验：证明这些杂乱的体积元组合在一起，一定能够产生我们日常生活所熟悉的四维时空。

CDT 理论只有不到 10 年的历史，但它已经扫清了这个障碍。CDT 理论主要由 3 位欧洲理论学家提出，他们分别是荷兰乌得勒支大学的雷娜特·洛尔（Renate Loll）、丹麦哥本哈根大学的扬·安比约恩（Jan Ambjørn）和波兰加格罗林大学的耶日·尤尔凯维奇（Jerzy Jurkiewicz）。CDT 用一些简单的三角形结构来构造时空几何，就像巴克敏斯特·富勒（Buckminster Fuller，美国著名建筑师，以设计巨型穹顶而闻名于世）用三角形表面构建穹顶一样。CDT 中最基本的建筑单元是 4 维单形（4–simplex），相当于一个四面体，只是位于四维空间之中。（就像一个四面体拥有 4 个三角形表面一样，一个四维单形的“表面”由 5 个四面体构成。）虽然每个单形在几何上都是平坦的，但它们可以通过多种方式黏合起来，产生弯曲时空。量子理论要求，时空结构在极小的尺度上必须不停地变化，因此研究人员对单形所能产生的构造进行统计分析，将所有的可能性综合在一起，来确定整体的几何结构。

以前，研究人员也用这种方式对宇宙的几何结构进行过三角剖分，得到的结果都毫无意义：推导出来的宇宙要么拥有无穷维数，时空全都收缩在一起，要么只有二维，卷曲成了一个圆筒。CDT 理论的关键在于，它排除了那些破坏因果律的结构（也就是允许结果先于原因出现的那些排列模式）。将这些不真实的构造从模型中剔除之后，CDT 终于取得了成功。2004 年，洛尔、安比约恩和尤尔凯维奇通过计算机模拟证明，用成千上万个单形构建起来的宇宙模型，的确是四维的。最近，这些研究人员还在计算机中演示，他们宇宙模型中的大尺度形状，与标准宇宙学理论的预言一致。

CDT 理论的下一步工作，则是把物质引入这一模型，看看它是否能够模拟出完整的广义相对论方程。圈量子引力理论的倡导者之一，加拿大派瑞米特理论物理研究所（Perimeter Institute for Theoretical Physics，位于安大略省沃特卢市）的李·斯莫林（Lee Smolin）认为，这一理论最终也许能够得到一些可供检验的预言，例如，这种模型小尺度上的非经典几何结构，会导致高能光子运动速度上的细微变化。斯莫林说，CDT 理论目前还没有得到理论物理学家应有的重视，也许是因为这种方法还严重依赖于计算机模拟。“这个课题并不容易，”他说，“依靠纸和笔推算出结果是非常困难的”。SA

（译 / 陈益飞 校 / 虞骏）

奇异的小尺度

因果性动力学三角剖分理论生成的宇宙模型，拥有一个最不可思议的特性：时空的维数取决于你把时空切分成多小。在大尺度上，CDT 时空是四维的，但是在所谓的普朗克尺度，也就是 10^{-33} 厘米的量级上，高度弯曲的非经典几何结构整合起来，就会产生一个只有二维的时空。CDT 的宇宙就像一件粗线毛衣：较大的蜘蛛可以在衣服的二维表面上爬行，但微小的螨虫只能在一维的毛线上爬行。

弦论是什么

弦论的一个基本观点就是，自然界的基本单元不是电子、光子、中微子和夸克之类的粒子。这些看起来像粒子的东西实际上都是很小很小的弦的闭合圈（称为闭合弦或闭弦），闭弦的不同振动和运动就产生出各种不同的基本粒子。弦论是现在最有希望将自然界的基本粒子和四种相互作用力统一起来的理论。

人类学

破译尼安德特人的基因

撰文/尼基尔·斯瓦米纳坦（Nikhil Swaminathan）

从一根短大腿骨化石中，也许可以首次提取出生活在 3.8 万年前的尼安德特人的完整基因组序列，他们是与我们智人血缘关系最近的一个物种。利用来自同一根腿骨的样本，两个研究小组使用了不同的方法，取得了部分 DNA 序列，并将它们与人类 DNA 进行了比较。结果发现，两者的基因组至少有 99.5% 的相似性（黑猩猩与人类的基因组有 99% 的相似）。根据特殊的遗传分析，大约在 50 万 ~70 万年前，人类和尼安德特人从共同的祖先那里分道扬镳，两个人种在大约 37 万年前停止杂交。尼安德特人的 DNA 序列，将有助于解答一些长期悬而未决的问题，例如走出非洲，并于 3 万 ~ 4 万年前迁往欧洲的人类，是否曾与尼安德特人杂交。目前的研究还没有发现混种的证据，但是也没有完全排除这种可能。这些发现发表在 2006 年 11 月 16 日的《自然》和 11 月 17 日的《科学》杂志上。SA

（译 / 贾明月 校 / 虞骏）

■尼安德特人是在欧洲和西亚发现的古人类的一支，大约生活在12万到3万年前的冰河时期，曾被认为是现代欧洲人的祖先。后来的考古学证据证明，现代人并不是他们的后裔。最新的研究表明，尼安德特人的DNA和现代人至少有99.5%的相似性。

智力

智商差异 先天还是后天？

有数据表明，黑人的智商测试平均得分正在提高，不过科学家对此的解释却说法不一。

撰文/玛丽娜·克拉科夫斯基（Marina Krakovsky）

在20世纪进行的大部分智商（IQ）测验中，黑人在世界范围内的平均得分，要比白人少15分。这是毫无争议的事实。

为什么存在这种差异？科学家对此各执一词。大部分人将IQ差异归咎于教育、卫生及其他环境因素的影响。遗传论者则认为，黑人白人之间的差异主要由先天遗传决定。他们列举了许多间接证据，并且特别指出：不论何时何地，这种差异始终存在——这种普遍一致性，成了这场种族差异起因之争的关键因素。正如加拿大西安大略大学的心理学家J·菲利普·拉什顿（J. Philippe Rushton）所说："如果黑白差异减小了，如果这种巨大的差异没有在世界各地普遍出现的话，这场争论也就不可能发生了。"他坦言自己是个遗传论者。

因此，2006年10月，当威廉·T·狄更斯（William T. Dickens）和詹姆斯·R·弗林（James R. Flynn）在《心理科学》（*Psychological Science*）杂志上发表论文，指出美国黑人已经大大缩小了与白人种族之间的IQ差距时，立即成了头条新闻。这些研究人员对1972到2002年间4种不同的IQ测验数据进行了分析，其中包括了斯坦福–比奈测试和美国军人资格测试（这都是较为常用的IQ测验方法），然后得出结论，与非西班牙裔白人领先的分数相比，美国黑人的得分已经追上了4~7分，将差距缩小了1/4~1/2。

弗林是新西兰达尼丁市（Dunedin）奥塔哥大学的政治学研究教授。他对IQ随时间的增长作过细致全面的分析研究，进而得出证据，证明环境因素能显著提高IQ测试分数——这项研究让他在圈中小有名气。狄更斯则是美国布鲁金斯学会（Brookings Institution）从事经济学研究的高级研究员。对于他们来说，这项研究的意义显而易见。"IQ差异不是永恒不变的，"弗林概括说。狄更斯则补充道，未来黑人和白人在机会均等方面的进步，将进一步缩小这个差距。

不过在自称种族现实主义者的拉什顿看来，这些证据并非无懈可击。他对这项研究进行了同行评议，从根本上否认了上述结论的客观性。他指出那些数据是被精心挑选出来的，因为这项研究至少忽略了另外4种IQ测验方法。在那4种测验中，黑人的得分不但没有增加，有些甚至还略微下降。最后，他与美国加利福尼亚大学伯克利分校著名的（同样也是争议性的）心理学家阿瑟·詹森（Arthur Jensen）合作，针对这项研究发表了一篇颇有说服力的评论。

狄更斯和弗林进行了反驳，称他们排除的是那些无法代表美国人群的数据样本。例如，在一个数据样本之中，某一人群的受教育程度超出了该种族的平均教育程度，不能确定他们究竟该代表哪个种族。狄更斯相信，大多数IQ测验方法的设计者根本就没有想过，要用全美国范围内有代表性的人群样本来重新校准他们的测验数据，因此研究人员很难从中得出可靠的结论。

美国特拉华大学的教育学教授琳达·戈特弗雷德森（Linda Gottfredson）指出，他们的发现存在着一个更严重的问题。如果黑人的IQ正在提高，而IQ又能很好地预言一个人的学业成就（academic achievement）的话，人们就应该在标准化成就测试中看到类似的、黑人得分上升的现象。不过据她所说，大多数研究都没有发现这种情况的出现。举例来说，查尔斯·默里（Charles Murray）是美国保守派智囊团——美国企业研究所（American Enterprise Institute）的一位研究员，也是1994年那本充满争议的畅销书《钟形曲线》（*The Bell Curve*）的作者之一。他在2006年12月号的《智慧》杂志上发表了一份关于黑人成绩的报告。这份报告的结论是，尽管在20世纪，黑人与白人在学校成绩上的差距开始逐渐缩小，但在20世纪70年代中期以后出生的人中，这种趋势已经停止。

对此，狄更斯的解释是，造成这种矛盾的部分原因在于，我们在用不同的方法看待同一组数据。他说："没有人怀疑成绩差距的存在，问题在于这种差距有没有缩小。"尽管IQ和成绩得分的提高并不完全相同，"但差距的缩小却是毫无疑问的"。

戈特弗雷德森还在狄更斯和弗林使用的长达30年的数据中，指出了一个相当棘手的趋势——随着年龄的增大，黑人白人的IQ差距也在稳步

▶环球科学小词典

《钟形曲线》，1994年底在美国出版的一本畅销书。该书的两位作者引用了大量的智力测试数据，得出结论认为，人的智力是先天遗传决定的，不同的种族具有不同的智力水平。例如，以白人的平均得分为100分，那么中国人和日本人的空间想象能力要高出3～14分，而黑人的空间想象能力则低大约15分。这本书一出版，立即引起了广泛而激烈的争论。

增大。她说，“所有这些数据都被认为是环境因素论的一大胜利，其实它们与遗传决定论也并不矛盾”，因为家庭环境的影响会随年龄的增长而被逐渐抹去。而在狄更斯和弗林提出的模型中，随着年龄的增长，贫穷家境反而会带来更大的负面影响。例如，狄更斯解释说，“对于一个高中辍学的母亲来说，教育一个 4~5 岁的孩子不成问题，但教育一个 16 岁的孩子就比较困难”，因为没有受过良好教育的父母，无法辅导孩子的高年级功课。

如果黑人智商测验得分的提高真的止步不前的话，人口构成比例上的变化也许要为此负责。默里说，不论什么种族，高 IQ 女性的生育率都较低，对于黑人女性来说，生育率的下降就更为严重。如此一来，下一代人中拥有优秀基因和良好家庭环境的人口比例就会下降。他还说，即使真的能够一劳永逸地解决遗传问题，比如利用今天的 DNA 检测技术提高后代的 IQ，绝大部分的科学家也会因为政治因素而回避此类研究。

遗传因素与环境因素可以相互影响，因此一些研究人员认为，种族的遗传差异毫无意义。美国弗吉尼亚大学的心理学家埃里克·图尔海默（Eric Turkheimer）就持有这种观点，他曾经考察过贫穷对一个人基因潜能的发挥所造成的影响。“遗传差异意味着什么呢？”拉什顿和詹森一定会回答：这意味着无论环境如何影响，种族间的差异都始终存在。“但是他们怎么知道差异不会消失？他们能够证明的，只是差异缩小的步伐令人沮丧罢了，”图尔海默说。SA

（译 / 王栋 校 / 虞骏）

应用物理学

无线充电

撰文/JR·明克尔（JR. Minkel）

科学家希望，将一种不需要电线就能传输电能的技术加以完善之后，用来为便携式电器充电。这种技术利用了感应原理，也就是变化的磁场可以使附近的导体感生出电流。为了增大作用范围和传输功率，美国麻省理工学院的研究人员提议，在一个金属环上切开一个短短的空隙，并在两端各连接一个小盘。通电后，沿着环路在两个盘间往复流动的电流，就会为这种器件引入一个自然频率。如果另一个金属环拥有相同的频率，它就能够通过磁场，从第一个金属环上获取能量。根据 2006 年 11 月 14 日美国物理所会议上提交的一份模拟计算结果，在几米以内，这种方法传输能量的功率可达几十瓦，足以维持笔记本电脑的运转。不过该效应目前尚未得到实验验证。SA

（译 / 张博 校 / 虞骏）

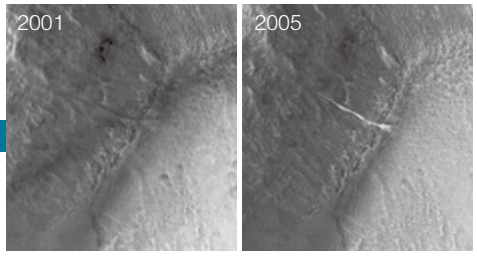
天文学

火星上的液体水流

撰文/JR·明克尔（JR. Minkel）

过去 7 年间，在火星沟渠中形成的沉积物说明，今天的火星上仍有液态水存在。火星全球勘探者号探测器拍摄于 2005 年的一张照片显示，某环形山侧壁上有一条向山下延伸的印痕，而在 4 年前拍摄的同一环形山的照片中，这条印痕并不存在。后来对沉积物的观察表明，尽管太阳光的照射角度不同，但浅色物质仍然存在，说明这并不是光线阴影造成的错觉，或者干旱侵蚀的结果。与此类似，2004 年 2 月拍摄的另一个环形山的照片上，出现了另一条正在形成的印痕，并且在随后拍摄的照片中不断增长，这些结果公布在 2006 年 12 月 8 号的《科学》杂志上。2006 年 11 月，工作了将近 10 年的火星环球勘探者号与 NASA 失去了联系，寻找其他类似的例子恐怕会十分棘手。SA

（译 / 张博 校 / 虞骏）



■现已失踪的火星环球勘探者号相隔4年拍摄的火星环形山中，出现了新的沟渠。

出售太阳

与标准的光电池相比，一种小巧而经济的太阳能电池，可以利用阳光产生两倍的电能。这种多结（multiple-junction）太阳能电池，是 Spectrolab 公司（一家为航天器制造太阳能电池的公司）在美国能源部的资助下研发出来的。它由锗和数层砷化镓构成，每一层对应于一种不同波长的辐射。阳光被透镜或反射镜汇聚到光电池上，可以使能量转化效率达到最高。

能量转化效率（百分比）：
普通硅电池：**12~22**
多结太阳能电池：**40.7**

多结太阳能电池的层数：**20~30**
每平方厘米可铺设的电池数量：**0.26685**
每平方厘米汇聚阳光的最大功率（瓦）：**24**
汇聚阳光的等效太阳个数：**240**
电力输出（瓦）：**2.6**
每千瓦时电力的估计成本（美分）：**8~10**

来源：美国能源部公告（2006 年 12 月 5 日）；Spectrolab 公司

（译 / 张博 校 / 虞骏）

宇宙黑手暗能量

撰文 克里斯托弗·J·康瑟利斯（Christopher J. Conselice）
翻译 蔡荣根

100 多亿年来，引力与暗能量的角力决定了宇宙今天的模样。宇宙加速膨胀的现实暗示，暗能量已经篡夺了宇宙的控制权。不仅如此，它还在幕后操控着宇宙的“居民”，插手恒星、星系和星系团的形成和演化。

直到 1998 年，天文学家才发现，我们忽略了宇宙中将近 3/4 的成分——暗能量 (dark energy)。这种神秘的未知能量形式充斥在我们周围，掌控着宇宙的命运，可我们对它几乎一无所知。公平起见，我们必须承认，有些研究人员早已预言过这种能量的存在，但即便是这些人也会告诉你，检测到暗能量是 20 世纪宇宙学中最具革命意义的发现之一。这不仅是因为暗能量占据着宇宙的主体，更重要的是，如果暗能量的理论经得起时间的考验，我们可能还需要发展出一套全新的物理理论，来描述和解释它的性质。

暗能量是什么，它的存在意味着什么？科学家才刚开始尝试回答这些问题。暗能量对宇宙整体的作用泄漏了它的行踪，而人们逐渐意识到，暗能量不仅对整个宇宙有影响，似乎也在操控宇宙的居民，指引恒星、星系和星系团（galaxy cluster）的演化进程。虽然以前并没有意识到暗能量对这些结构的影响，但天文学家们几十年来一直在研究它们的演化过程。

讽刺的是，暗能量的无处不在，反而让人们很难意识到它的存在。暗能量与物质不同，它是均匀分布的，不会在某个地方聚集成团。不论是在你家的厨房，还是在星际空间，暗能量的密度都完全一样，约为 10^{-26} 千克 / 立方米，相当于几个氢原子的质量。我们太阳系中所有的暗能量加起来，与一颗小行星的质量差不多，在行星的“舞蹈”中，几乎起不了作用。只有在巨大的空间尺度上和时间跨度上，才能体现出暗能量的影响力。

从美国天文学家埃德温·哈勃（Edwin Hubble）开始，观测天文学家就知道，除了最近的星系，所有星系都以极高的速度飞奔而去，离我们越来越远。这个速度与距离成正比：离我们越远的星系，退行（recession）速度就越大。传统观点认为，宇宙的大小是固定不变的，只是星系正在远离我们，但观测结果推翻了这种观点。实际上，不断拉伸的是空间结构本身，星系只是被裹挟在其中，离我们越来越远。另一个问题随之而来：膨胀的速率如何随时间演化。几十年来，科学家一直在努力回答这个问题。他们曾经推测，宇宙膨胀会越来越慢，因为星系之间的引力应该会阻碍向外的膨胀。

膨胀速率随时间变化的第一项明确观测证据，来自遥远的超新星。就像观察河面上漂浮的木块能够测量河水流速一样，这些爆炸中的恒星也可以看作测量宇宙膨胀的标尺。这些观测明确无误地表明，过去宇宙膨胀的速率比现在慢，也就是说，宇宙的膨胀在加速。更确切地说，曾经

暗能量分布在广袤的宇宙之中，不仅促使宇宙加速膨胀，也同样在幕后操控着宇宙的居民——星系团、星系，甚至恒星。

有一段时间，宇宙膨胀的速率越来越慢，但在某一时刻发生了逆转，开始加速。这一惊人的结果已经得到了交叉验证，几项相互独立的研究，包括对威尔金森微波各向异性探测器 (WMAP) 传回的微波背景辐射所作的研究，都支持这个结论。

还有一个可能的结论是，在超星系尺度上，引力遵循的定律与较小尺度上的引力定律不同，所以星系间的引力实际上并没有阻碍宇宙的膨胀。但更多的人相信，引力定律对这些尺度范围内的研究对象都适用，只是宇宙中存在着某种形式的未知能量，能够战胜星系之间的吸引力，让它们分离得更快。尽管在我们的星系中，暗能量无足轻重（也无需担心你的厨房），但它们合在一起，就成了宇宙中最强大的力量。

宇宙雕塑家

表面看来，星系团、星系和恒星并不会随着宇宙的膨胀而变大，似乎逃脱了暗能量的操纵。其实，它们也是暗能量的玩偶，只是暗能量的影响藏得更深，更隐蔽。

经过进一步的研究考察，天文学家们发现，暗能量不仅决定了宇宙的整体膨胀速率，对较小尺度上的物体也有长远影响。当你将视线从整个可观测宇宙移向较小尺度的结构时，最先引起你注意的，八成就是宇宙尺度上物质的分布模式——仿佛都在一张蜘蛛网上。“蛛网”的细丝长达几千万光年，细丝之间则是大小相仿的空洞，其中的物质极其稀薄。数值模拟显示，物质本身不足以解释这种分布模式，暗能量也是不容忽视的影响因素。

不过，这个发现还不算太意外。这些细丝和空洞与行星不同，它们并不是紧密结合在一起的实体，还没有建立起内部的受力平衡，无法从宇宙的整体膨胀中摆脱出来，换句话说，它们还在随着宇宙一起膨胀。实际上，这些细丝和空洞是宇宙膨胀（及影响宇宙膨胀的所有现象）与它们自身引力相互竞争的结果。在这场拔河比赛里，没有哪一方具有压倒性的优势，双方僵持不下。假如暗能量再强一些，膨胀将赢得比赛，物质就会分散开来，无法凝聚成细丝。假如暗能量再弱一些，物质将聚集得比现在更紧密（见 22 页的图解）。

当你将视线移向更小尺度上的结构，开始关注星系和星系团时，就会发现那里的情况更复杂。星系（包括我们的银河系）并没有随着宇宙一起膨胀。星系的大小取决于它们自身的状况，星系引力与星系物质（恒星、气体及其他物质）的角动量达到了平衡。只有从星系际空间（即星系之间的空间）里吸积物质，或与其他星系发生并合以后，星系才会增大。宇宙膨胀对星系的影响微乎其微。因此，即使暗能量在星系形成过程中发挥过作用，这种影响也不会很明显。对星系团来说，情况也是如此。因为星系团是不随宇宙膨胀的最大天体结构，由上千个星系构成，被包裹在一大团热气体云中，彼此间通过引力聚集在一起。

不久以前，人们还以为星系和星系团形成的各个方面之间毫不相关，但现在看来，暗能量也许就是它们之间的关键联系。因为星系之间的相互作用和并合，在一定程度上驱动了这些系统的形成和演化，而相互作用和并合则受到了暗能量的强劲影响。

为了理解暗能量如何对星系形成施加影响，让我们先来看看天文学家对星系形成的看法。现在的理论基于这样一种思想：物质可被分为两类。第一类是普通物质，它们的粒子很容易与其他粒子发生相互作用，假如粒子带电的话，也会与电磁辐射发生相互作用。天文学家称这类物质为重子物质，因为它们的主要成分是质子和中子之类的重子（baryon）。第二类称为暗物质（注意，不是暗能量），占据物质总量的 85%。它的最显著特点就是，不与辐射发生相互作用，因此既不会发光，也不会遮光，几乎不可能“看”到它。不过在引力方面，它的表现与普通物质无异。

根据模型，大爆炸之后，暗物质立即开始聚集，形成一个个球状的暗物质团，天文学家称它们为“晕”（halo）。相反，重子物质之间的相互作用，以及它们与辐射之间的相互作用，使它们无法成团，仍然保持着炽热的气体形态。随着宇宙膨胀，气体冷却之后，重子才能聚集成团。发生大爆炸的几亿年后，第一代恒星和星系就诞生在这种冷气体云中。它们的出生地并不是随机分布的，这些恒星和星系都形成于当时已经成形的暗物质晕的中心。

自 20 世纪 80 年代起，许多理论学家都曾用计算机仔

概述 / 暗能量

◆科学家普遍认为，暗能量是造成宇宙加速膨胀的原因。这种未知能量对宇宙施加了一种类似反引力的作用力。

◆但很少有人知道，暗能量对宇宙中的物质也有间接的影响。它帮助宇宙形成了特有的物质分布的丝状结构，还可能在 60 亿年前，遏止了星系团的成长。

◆暗能量对更小尺度上的结构——星系也有影响，它减少了星系相互碰撞的几率。这样的相互作用决定了星系的形状。假如暗能量比现在更弱或更强，银河系的恒星形成率可能会更低，构成行星的重元素也许永远不会出现。

细模拟过这一过程，其中包括德国马普天体物理研究所西蒙·D·M·怀特（Simon D.M.White）领导的研究小组和英国杜伦大学卡洛斯·S·弗兰克 (Carlos S.Frenk) 领导的研究小组。他们已经证明，宇宙中形成的第一代物质结构，大多数是小质量的暗物质晕。因为早期宇宙非常稠密，这些小质量晕（以及其中的星系）会相互碰撞并合，形成质量较大的系统。按照这种方式，星系构造的过程是自下而上的，就像先得到了一堆积木，再用它来搭建玩具房屋一样。（还有一小部分人认为，星系构造的过程是自上而下的，就像先得到整座玩具房屋，再拆成许多积木一样。）我和同事们观察了遥远的星系，研究了漫漫宇宙历史中星系的并合过程，试图以此检验这些模型。

星系演化的趋势

小质量星系通过并合不断壮大，恒星的主要出生地却从大质量星系逐渐转移到小星系……这些演化趋势看似恰恰相反，但在它们的背后，却有来自同一股力量的推动。

经过仔细研究，人们了解到，当一个星系与另一个并合时，它的形状就会扭曲。我们现在能够看到的星系中，最早的一批大概在宇宙 10 亿岁时就已经存在了，而且其中不少看来正在并合。随着时间的推移，大质量星系之间的并合越来越少。在大爆炸之后 20 亿年，有一半左右的大质量星系还在相互并合；到了大爆炸之后 60 亿年，大星系之间基本就没有并合现象了。此后，星系形状的分布（即不同形状的星系所占的比例）固定下来，预示着星系已经很少发生碰撞和并合。今天，仍有少数星系还在并合，但它们都是典型的小质量星系。

实际上，现在宇宙中 98% 的大星系不是椭球形，就是漩涡形。如果发生并合，星系就会扭曲变形。但我们看到的这些大星系都相当稳定，其中的恒星大多非常古老，说明这些星系早就成形了，长久以来一直维持着这样的规则形状。

大约在它 60 亿岁的时候，宇宙的精力就已消耗殆尽。星系并合越来越少并不是惟一的征兆，宇宙制造恒星的能力也在下降。20 世纪 90 年代，加拿大多伦多大学西蒙·J·莉莉（Simon J. Lilly）领导的研究小组，美国空间望远镜科学研究所的皮耶罗·马登（Piero Macau）领导的小组，以及美国加州理工学院的查尔斯·C·施泰德尔（Charles C. Steidel）领导的小组，得出了令人信服的结论：现在存在的恒星大多诞生在宇宙历史的头 60 亿年里。最近，研究人员已经了解了这一趋势出现的具体过程。他们发现，

NGC4526 星系中的超新星 1994D

存在暗能量的证据

超新星爆发

在膨胀的宇宙中，星系相互分离的速度取决于它们之间的距离。超新星为这一效应提供了测量方法：超新星的光谱红移透露了它们所在星系的速度，而它们的亮度则揭示了距离。如果直接按照今天的膨胀速度简单推算回去，能得到一个理论速度，但观测显示，几十亿年前星系退行的速度比这个理论速度更慢。因此宇宙的膨胀肯定在加速——这正是暗能量存在的直接证据。

宇宙微波背景辐射

微波背景辐射照片中斑点的视大小，反映了空间的整体几何结构，因此也反映了宇宙的物质能量密度。观测得出的物质能量总量，超过了普通物质和暗物质的质量之和，所以必须有某种成分，例如暗能量，来填补那个差值。此外，宇宙结构的引力场已经让背景辐射发生了细微的变化。变化的程度取决于宇宙膨胀如何随着时间改变，观测结果与暗能量所做的贡献相匹配。

星系分布

星系并不是随机地散布在天空中。相反，它们根据一定的模式排列，就像微波背景中的那些斑点。人们可以用它来测量宇宙的总质量，并证实暗能量应该是存在的。

引力透镜

一团物质可以通过自己的引力使光线弯曲，就像透镜一样。假如光源刚好位于它的后方，引力透镜就会像哈哈镜一样，产生多个影像。宇宙越大，两个天体恰好排成一行的可能性就越大，而宇宙的大小（即宇宙的膨胀）又依赖于暗能量的多少。一个弱引力透镜也能弯曲光线，偏折的角度则取决于它的质量。对这类弱引力透镜的研究已经揭示出物质团随时间增长的过程，发现了暗能量的印记。

星系团

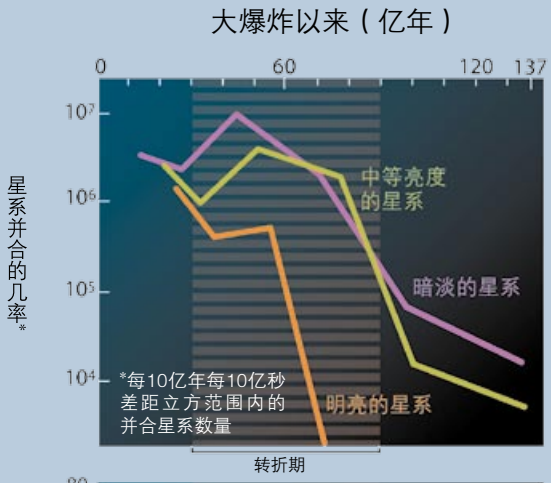
X 射线的观测可以追踪星系团质量的演化。只有暗能量才能解释我们观测到的现象——星系团何时形成，又如何形成。

暗能量主掌大权

尽管大爆炸之后，宇宙很快开始形成结构，但不久后，结构形成就渐渐停止。最初星系相互并合，形状改变，高效生产恒星。但是，当暗能量的强度能够与物质分庭抗礼时（图中的褐色区域），这些活动就慢慢停止了。这只是个巧合吗?

星系并合结束

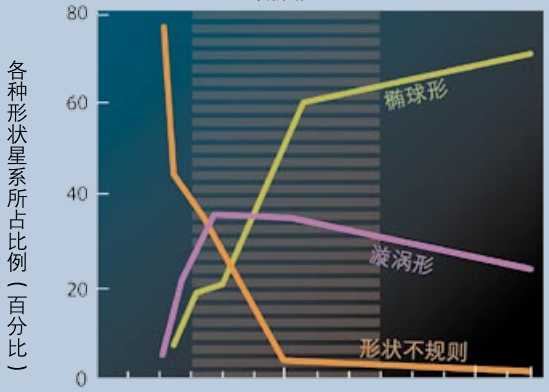
大概在宇宙60亿岁时，最亮的星系不再碰撞和并合。稍暗一些的星系仍能并合，但并合几率也大大降低。



并合中的星系NGC4676

星系形成规则形状

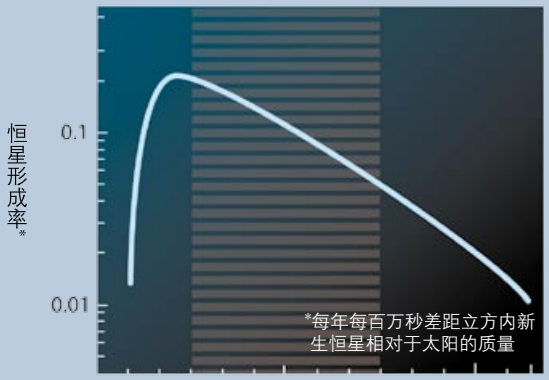
早期的大多数星系看起来都奇形怪状的，这是它们正在并合的信号。当并合不再频繁发生，漩涡和椭球形状就越来越普遍了。



星系团HCG87

恒星形成率下降

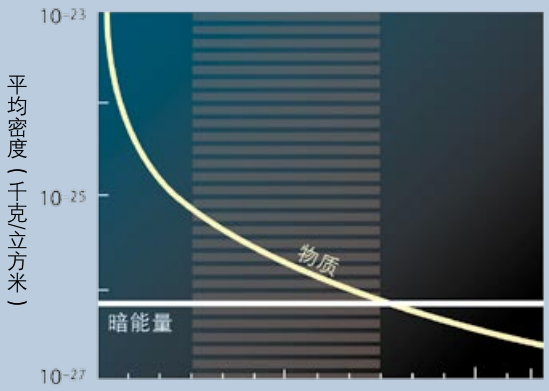
早期宇宙是一口不断有恒星形成的大锅（恒星就像其中的气泡），但恒星形成率很快达到顶峰，然后开始下跌。现在的形成率比过去任何时刻都低。

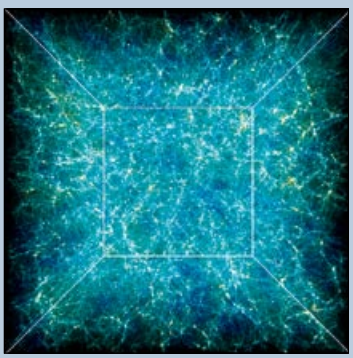


四合星团中新诞生的恒星

暗能量的作用凸现

所有这些观测到的趋势都与一个简单的事实有关：随着宇宙的膨胀，物质变得稀薄，当它的密度接近暗能量的密度（在最简单的模型中，暗能量的密度是一个常数），宇宙膨胀由减速变为加速。星系被更快地拉开，不太可能再发生碰撞，或者聚集气体制造恒星。





物质分布的数值模拟结果

LUCY READING-IKKANDA (graphs); Andrew Hopkins University of Sydney (source of star formation rate graph); NASA/ACS SCIENCE & ENGINEERING TEAM (merging galaxies); NASA/ESA/STScI/HUBBLE HERITAGE TEAM Photo Researchers, Inc. (Hickson Group); NASA/K. L. LUHMAN Harvard–Smithsonian Center for Astrophysics AND G. SCHNEIDER, E. YOUNG, G. RIEKE, A. COTERA, H. CHEN, M. RIEKE and R. THOMPSON Steward Observatory, University of Arizona (Trapezium cluster); IMAGE GENERATION BY THE VISUALIZATION INSTITUTE AT THE UNIVERSITY OF STUTTGART, DATA FROM THE VIRGO SUPERCOMPUTING CONSORTIUM OF THE MAX PLANCK SOCIETY IN GARCHING AND THE INSTITUTE FOR COMPUTATIONAL COSMOLOGY (simulation of matter distribution)

最先停止生产恒星的正是大质量星系；自大爆炸后 60 亿年以来，只有质量较轻的星系，才能以较高的效率继续生产恒星。这似乎有点自相矛盾：星系形成理论预言，宇宙中先形成小星系，它们并合后才会出现大星系。但恒星形成的历史恰恰相反：刚开始，恒星大多诞生在大质量星系之中，后来主要的诞生地才转移到较小的星系中（这种转移就是所谓的恒星形成星系小型化）。

还有一点也让人们大惑不解：星系中心超大质量黑洞的成长似乎也明显减缓。这些黑洞为类星体和其他活动星系提供着动力，但在现在的宇宙中，活动星系寥寥无几；在其他大部分星系（包括银河系）中，中心黑洞非常“安静”，鲜有活动迹象。

星系因并合而不断壮大，恒星的主要诞生地从大质量星系转移到小星系，黑洞变得“沉默寡言”——这些演化趋势之间是否彼此关联？暗能量真有可能是产生这些趋势的根本原因吗？

牢牢把握控制权

恒星形成高潮结束、星系并合几率暴跌、黑洞不再活跃，这一切发生的时间，几乎与暗能量战胜引力，宇宙膨胀由减速转为加速的时间完全一致。难道这只是一个巧合？

一些天文学家推测，星系的内部过程（比如黑洞和超新星释放的能量）遏制了恒星和星系的形成，但暗能量可能是更根本的原因，它能把所有现象联系起来。最主要的证据是，大多数星系和星系团停止形成的时间，与暗能量开始把持大局的时间大体一致，大约都发生在宇宙 60 亿岁的时候。

人们设想，宇宙中的物质密度曾经非常高，战胜了暗能量的效应，由星系间的引力占据主导地位。星系摩肩接踵，相互作用，频频并合。在迎头相撞的星系中，气体云聚集成团，形成新的恒星；另一些气体被拉入星系的中心，成为中心黑洞的“食物”，使黑洞成长壮大。随着时间的推移和空间的膨胀，物质变得稀薄，引力变弱，但暗能量的强度却始终如一（或者几乎如此）。两者之间的天平不可抗拒地发生了倾斜，最终使宇宙的膨胀从减速变为加速。与此同时，宇宙中的众多星系随着空间的膨胀越拉越远，星系并合率也因此逐渐降低。同样的道理，星系际气体也很难再落入星系的中心，“食物”匮乏使黑洞失去了活力。

这些过程或许也能解释星系小型化。质量越大的暗物质晕（包括其中的星系），成团程度也越明显；因此大质量晕往往扎堆出现，彼此非常靠近。相比小质量系统，这些晕可能会更早地撞上它们的邻居。一旦发生碰撞，星系中就会诞生一批新的恒星。新形成的恒星开始闪耀，驱散并加热了周围的气体，阻碍气体继续坍缩形成新的恒星，因此，恒星诞生的高潮很快就会结束。星系中心的黑洞是新恒星形成的另一阻碍。星系的并合将气体拖入黑洞，使黑洞发出喷流（*以极高速度向外射出的物质流*），喷流加热了星系中的气体，同样阻碍了气体冷却，进而坍缩成新恒星的过程。

很明显，大质量星系中的恒星形成一旦停止，就很难再重新开启。很可能是因为这些系统中的气体已经耗尽，或者变得过热，无法很快冷却下来。这些大质量星系还会与其他星系并合，但由于缺乏冷气体，几乎无法再生产新的恒星。大质量星系逐渐变得萧条，其中鲜有新恒星诞生，而较小的星系还在继续并合，形成新的恒星。结果就像观测到的那样，大质量星系比小星系更早成形。暗能量决定了星系的成团程度和并合几率，也许它正是通过这种方式，暗中操控着恒星形成的过程。

暗能量或许还能解释星系团的演化。在宇宙 60 亿岁以前，远古星系团就已经具备了现在星系团的规模。换句话说，过去的 60 亿年到 80 亿年间，星系团并没有明显增大，说明落入星系团的星系数量明显减少。早在 20 世纪 90 年代中期，天文学家就发现了这一现象。他们只能猜想，宇宙中的物质密度比理论预言的更低。而暗能量的发现解决了观测事实和理论间的紧张局面，这是暗能量在大尺度上

▶环球科学小词典

本星系群是包括银河系在内的一群星系，共包含大约 50 个星系，其中的主要成员包括银河系、仙女座大星系和三角座星系。本星系群的总质量相当于 1.3×10^{12} 颗太阳，占据的宇宙空间直径约为 1,000 万光年。室女座星系团则是室女座方向上的一个大星系团，至少包含 1,300 个星系，总质量相当于 1.2×10^{15} 颗太阳，距离我们大约 5,900 万光年。本星系群位于室女座星系团的外缘。

本文作者

克里斯托弗·J·康瑟利斯是一位天文学家，刚刚离开美国加州理工学院，成为英国诺丁汉大学的一名讲师。他致力于研究星系的形成，主持了几个观测项目，用地面和空间望远镜，展开红外和可见光波段的观测。他出生在美国宾夕法尼亚州的一个农民家庭中，热爱这片天地。在业余时光，他喜欢划船、钓鱼、骑自行车和洞穴探险。

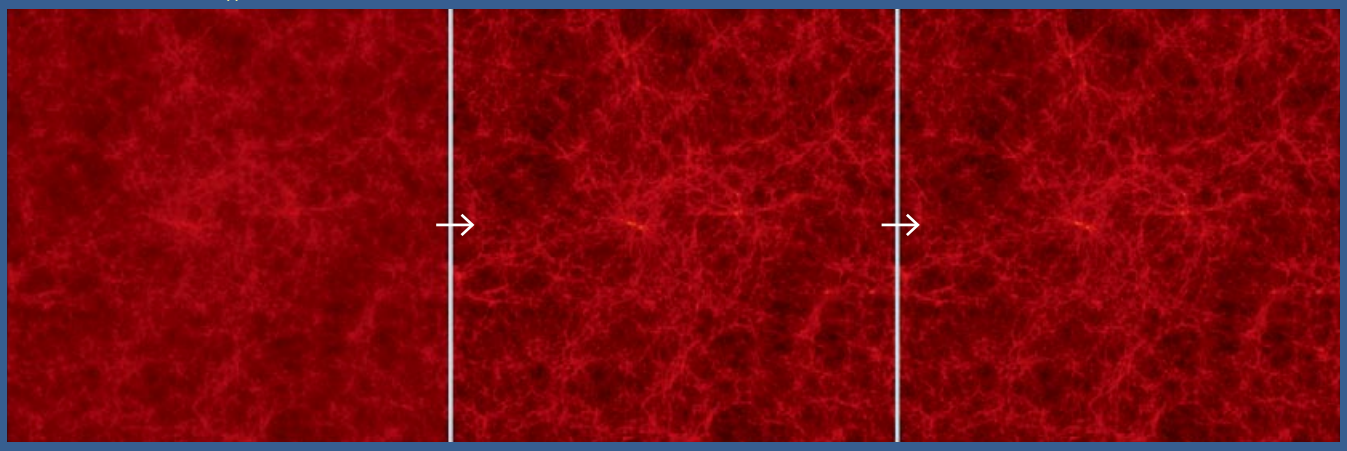
本文译者

蔡荣根：中科院理论物理所研究员，博士生导师。热心研究黑洞物理、宇宙学、超弦理论。闲暇的时间，喜欢和家人共度，或者安安静静地看些与历史有关的书籍。

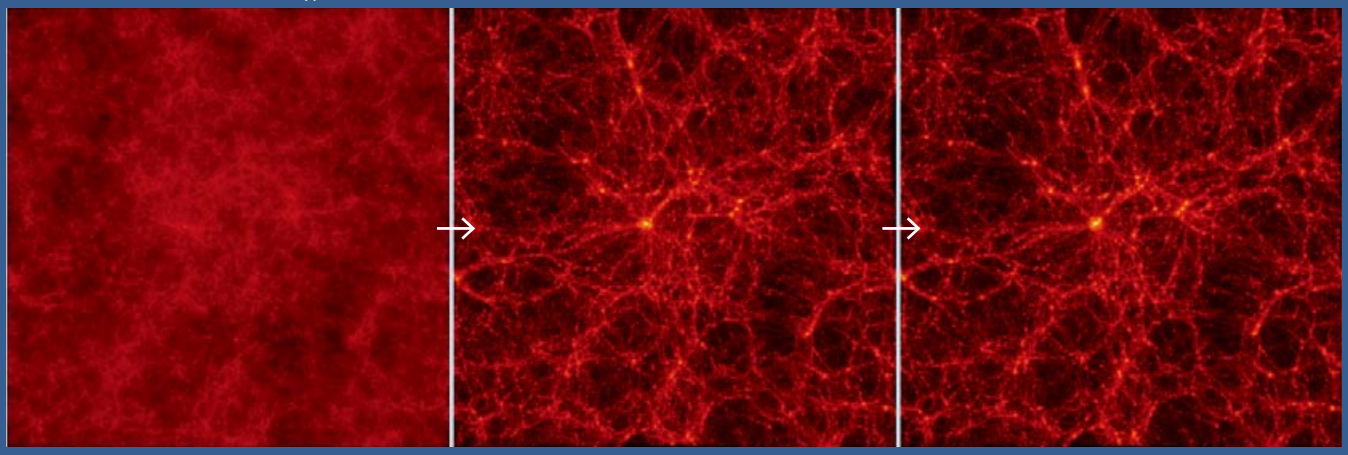
假如不是现在这样

假如宇宙中拥有更多暗能量，宇宙看起来将完全不同于现在的模样。宇宙加速膨胀将发生得更早，物体分离得更快，大尺度结构在萌芽阶段就会夭折。假如宇宙中的暗能量更少，情况恰恰相反。下面的计算机模拟结果展示了宇宙中暗能量成分不同时，物质分布随着时间的演变。每一张图显示的区域，在今天看来都有10亿光年长的跨度，其中包含2,700万个粒子，一个粒子代表一个星系。这些模拟假定暗能量密度是一个常数，不随时间和空间变化。Ω_Λ是一个宇宙学参数，表示今天暗能量的密度。

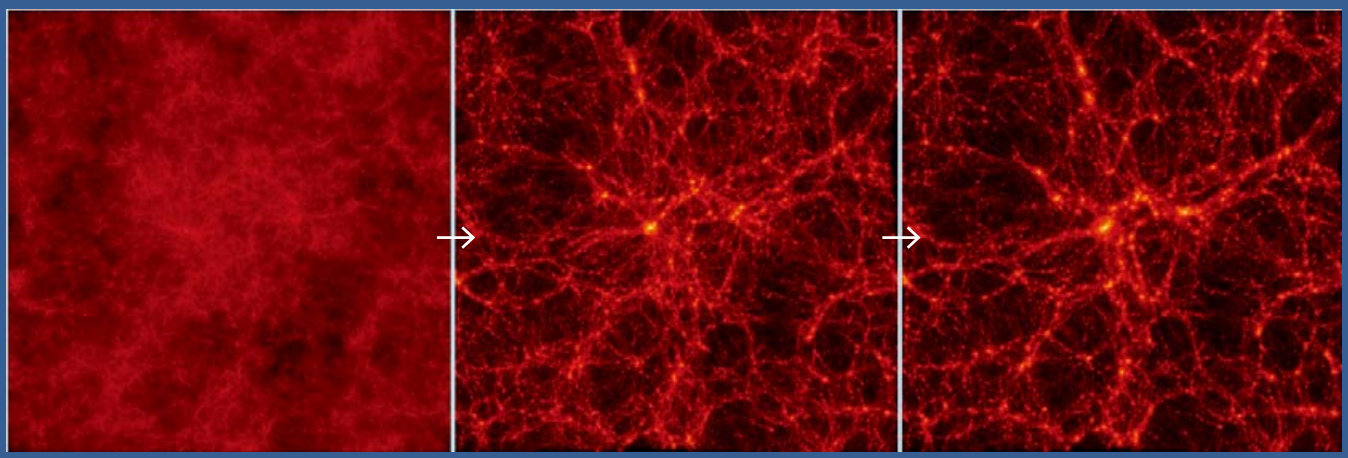
■更多的暗能量 Ω_Λ=0.99



■目前观测到的暗能量 Ω_Λ=0.75



■没有暗能量 Ω_Λ=0



Liang Gao, Carlos Frenk AND Adrian Jenkins Institute for Computational Cosmology, Durham University

早期宇宙：当宇宙的大小只有现在大小的1/6时，三种情况下，物质都是均匀分布的。暗能量还无法施加影响。

过渡时期：当宇宙的大小达到现在的75% 时，暗能量的影响显而易见。在暗能量密度偏高的情况下（见本列最上方），宇宙看来杂乱无章。在另外两种情况下，结构形成仍在继续，形成了一个蜘蛛网状的物质分布模式。

现在：如果暗能量的密度与今天观测到的宇宙一致（见中图），大尺度结构的形成就已经结束，物质空间分布的蜘蛛网模式已经不再变化。在没有暗能量的宇宙里（见本列最下方），蜘蛛网模式还在继续演化。

影响星系相互作用的一个直接信号。

我们自身所处的星系团——本星系群（Local Group）就是很好的一个例子，能够形象地演示暗能量是如何改变星系团形成历史的。就在几年以前，天文学家还认为，银河系及其近邻——仙女座大星系，连同它们各自的一大群小星系同伴，最终都将落入附近的室女座星系团中。但现在看来，我们的星系能够避免这样的噩运。因为暗能量驱使我们和室女座星系团之间的距离不断膨胀，膨胀速度已经超过了本星系群向室女座星系团掉落的速度，我们永远不会变成大型星系团的一员。

通过遏制星系团的演化，暗能量还控制着星系团中的星系组成。星系团的环境促进了一些星系的形成，如透镜星系、巨椭圆星系和矮椭圆星系。通过调整星系加入星系团的能力，暗能量控制着星系团中这些星系类型的相对比例。

这是一个精彩的故事，但事实果真如此吗？星系并合，黑洞的活动和恒星的形成都随时间流逝而减弱，它们之间很有可能以某种方式彼此关联。不过，天文学家还没能够理清这些事件的来龙去脉。未来几年，我们将充分利用现有的巡天项目，包括哈勃太空望远镜、钱德拉 X 射线天文台和灵敏的地面光谱成像仪，详细考察其中的关联。对遥远的星系做一次普查，确定它们最后一次并合发生的时间，将是找到关联的有效方法。这些分析工作需要一些新的理论工具，虽然尚待我们开发，但在未来几年里，我们应该就能拥有这些工具。

假如不是现在这样

不久前，人们担心宇宙膨胀会越来越慢，最终坍缩毁于一旦；现在又转而担心，暗能量太过强大，最终会撕碎所有原本受引力束缚的天体，包括我们的地球。

一个由暗能量主宰的加速膨胀宇宙，可以自然而然地产生我们观测到的、星系演化方面的种种现象，即星系并合的停止和随之而来的许多后果，包括恒星形成效率的大幅降低和星系形态不再变化。假如暗能量不存在的话，星系并合可能会持续更久，现在的宇宙中将出现更多拥有年老恒星的大质量星系。同时，宇宙中的小质量星系会更少，银河系这样的漩涡星系将变成少数派（因为漩涡结构无法在并合过程中幸存下来）。星系的大尺度结构则会变得更为紧密，结构并合和吸积过程会更为频繁。

假如暗能量比现在更强大，那么情况就会完全相反。漩涡星系和小质量的不规则矮星系将更加普遍，因为在宇宙演化过程中几乎没有经历过星系并合；星系团的质量要小得多，或者根本就不存在；甚至连恒星也很少形成，宇宙中的大部分重子物质仍是一团团弥漫的气体。

表面上看来，星系的形成似乎离我们的生活很远，但实际上，这些过程早已影响到我们自身的存在。如果没有恒星，所有比锂重的元素就无法形成，而这些元素构成了我们赖以生存的类地行星，还有我们的生命本身。假如恒星形成率较低，这些元素的丰度不高，那么宇宙中就不会拥有这么多行星，可能根本不会出现生命。由此可见，暗能量对宇宙的许多看似互不关联的不同方面，甚至对我们地球的历史，都产生过深刻的影响。

暗能量的使命远远没有结束。看上去，它对生命是有益的：不久之前，天文学家还在担心，宇宙总有一天会停止膨胀，最终在一场大坍缩中毁于一旦，而现在宇宙的加速膨胀已经打消了这种担心。但暗能量也带来了其他危险。至少，它拉开了遥远星系彼此间的距离，让它们退行得越来越快，总有一天，我们再也看不到它们。空间正变得越来越空旷，本星系群正在变成一座孤岛。最终，在星系际茫茫的宇宙空间中飘荡的星系团、星系甚至恒星，都被完全孤立在它们自身引力能够控制的范围之中，这个范围可能比自己的体积大不了多少。

更糟糕的是，暗能量可能也在演化。一些模型预言，假如暗能量变得更强势，它将撕裂由引力束缚在一起的天体，例如星系团和星系。最终，地球也可能从太阳系中剥离出来，甚至地球本身，连同地球上的一切物体，都会被撕成碎片，就连原子也难逃一劫。到了那时，一度生活在物质阴影下的暗能量，终将完成它的复仇大业。SA

扩展阅读

A Direct Measurement of Major Galaxy Mergers at z≤3. Christopher J. Conselice, Matthew A. Bershady, Mark Dickinson and Casey Papovich in Astronomical Journal, Vol. 126, No. 3, pages 1183 - 1207; September 2003. www.arxiv.org/abs/astro-ph/0306106

Dark Energy. Robert R. Caldwell in Physics World, Vol. 17, No.5, pages 37 - 42; May 2004. http://physicsweb.org/articles/world/17/5/7

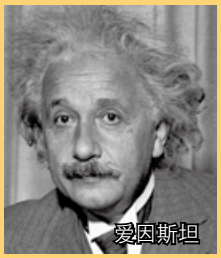
The Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy, and the Accelerating Cosmos. Robert P. Kirshner. Princeton University Press, 2004.

The Infinite Cosmos: Questions from the Frontiers of Cosmology. Joseph Silk. Oxford University Press, 2006.

暗能量研究简史

1917年

爱因斯坦将广义相对论应用于整个宇宙，奠定了现代宇宙学的基础。根据最初推导出来的方程，宇宙必然处于膨胀或收缩之中。爱因斯坦坚信宇宙是稳恒不变的，因此他在方程中人为加入了一个常数——宇宙学常数，来抵消引力的作用。



爱因斯坦

1927年

乔治·勒梅特

比利时天主教牧师乔治·勒梅特根据爱因斯坦的相对论，提出宇宙起源理论，认为宇宙是由一个“原初原子”膨胀而来的。爱因斯坦对他的推导过程大加赞赏，却质疑他的结论。这一假说被公认为现代大爆炸宇宙学的最初版本。

1929年

埃德温·哈勃根据观测总结出哈勃定律：除了最近的星系以外，所有星系都在离我们远去，速度与它们的距离成正比。哈勃用观测证明，宇宙确实在膨胀，爱因斯坦后来接受了这一事实，称宇宙学常数是他“一生中最大的错误”。

埃德温·哈勃

1934年

随着量子力学的发展，真空不再被视为空无一物的空间，其中充满了不断产生和消失的虚粒子，它们也拥有能量。勒梅特用理想流体状态方程证明，宇宙学常数可以由真空能引起，为爱因斯坦的“错误”赋予了新的内涵。

1948年

在乌克兰物理学家乔治·伽莫夫的指导下，他的学生拉尔夫·阿尔菲利用大爆炸理论，推算出宇宙中氢、氦元素的比例，结果与观测值完全吻合。在同一篇论文中，他们还预言了宇宙微波背景辐射的存在。大爆炸宇宙学开始成为主流理论。

乔治·伽莫夫

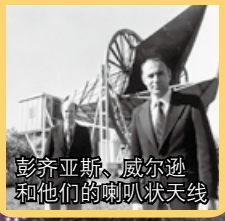
1961年

艾伦·桑德奇

美国天文学家艾伦·桑德奇研究了一些球状星团，测定了其中恒星的年龄。他发现，如果不考虑宇宙学常数，大爆炸宇宙学得出的宇宙年龄还没有这些恒星的年龄大，这明显是错误的。因此，如果大爆炸宇宙学没错，那么宇宙学常数就必定不为零。尽管桑德奇的数据与今天的有所出入，但这个结论却是正确的。

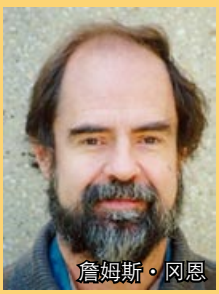
1964年

美国物理学家阿诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊架设起喇叭状天线，意外地发现宇宙各个方向均匀分布着微波辐射，这是宇宙早期的高温环境残留至今的余热。这项观测验证了伽莫夫的预言，将宇宙大爆炸理论扶上了宇宙学主流理论的宝座。



彭齐亚斯、威尔逊和他们的喇叭状天线

1975年



詹姆斯·冈恩

美国物理学家詹姆斯·冈恩和约翰·奥凯研究了巨椭圆星系的红移－亮度关系。红移代表了星系远离我们的速度，亮度则能提示星系的距离。他们发现，这一关系明显与物质为主的宇宙大爆炸模型不相符合，必须考虑宇宙学常数才能加以解释。

1995年

美国天体物理学家杰里迈亚·奥斯特里克尔和保罗·斯坦哈特提出了ΛCDM模型，重新引入宇宙学常数。这个模型得到了当时所有观测事实的支持，并与后来的观测事实相符，已经成为宇宙学标准模型。

杰里迈亚·奥斯特里克尔

1998年

高红移超新星搜寻小组和超新星宇宙学项目组先后公布了观测数据。Ia型超新星的红移和观测亮度，揭示出它们的膨胀速度和准确的距离，明确无误地表明，宇宙的膨胀速度正在加快。这是宇宙中的神秘力量与引力抗衡的直接证据。

1998年

美国理论宇宙学家迈克尔·特纳从“暗物质”这个术语中得到灵感，将这种神秘力量命名为暗能量，很快被广泛接受。暗，是指这种力量的神秘与未知；能量，是描述它对抗引力，驱使宇宙加速膨胀的性质。

迈克尔·特纳

1998年

尽管宇宙学常数可以很好地描述暗能量，但量子力学推算出来的真空能量密度，却比观测到的暗能量密度高出 10^{120} 倍。保罗·斯坦哈特等人提出了另一种解释，将暗能量描述为一种遍布宇宙的量子标量场——精质。它与宇宙学常数的最大区别在于，精质会随时间和空间而变化。

保罗·斯坦哈特

2000年

意大利物理学家保罗·德贝尔纳迪斯利用高空气球观测了部分天区的微波背景辐射，分析了背景辐射中微弱的不均匀性。这些不均匀结构的大小表明，宇宙中的总能量密度接近于 1。结合其他观测数据，得出宇宙中暗能量的密度一定高于物质密度。

保罗·德贝尔纳迪斯

2002年

英国高能天体物理学家安德鲁·费边等人，用钱德拉 X 射线天文台观测了明亮的星系团，测定其中高温气体与暗物质的比例，称量出星系团的总质量。这些观测数据表明，宇宙物质密度约为 0.3。

安德鲁·费边

2002年

英国天体物理学家乔治·埃夫斯塔西奥领导的研究小组，利用英澳天文台的望远镜，展开大规模星系巡天观测（2dF 项目）。首批公布的数据中包括了 25 万个星系的空间位置，根据它们的成团模式，研究小组测出了宇宙中暗能量所占比例，与超新星观测完全吻合。

2dF巡天使用的望远镜

2002年

英国射电天文学家伊恩·布朗等人分析了宇宙透镜巡天观测的数据，发现平均每 700 个遥远类星体，就会有 1 个受到引力透镜的强烈扭曲。根据引力透镜发生的几率，他们测定了宇宙中物质、暗能量各自的比重，确定暗能量约占 2/3。

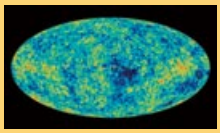
CLASS观测到的引力透镜星系

2003年

美国物理学家格里高利·加巴达泽等人提出，根据弦理论，3+1 维时空中的引力会泄漏到更高的维度中去，因此引力在长距离上作用会减弱。这种理论，以及类似的其他理论，试图撇开暗能量，通过修正引力理论来解释观测宇宙。但是目前还没能成为主流理论。

格里高利·加巴达泽

2003年



WMAP提供的微波背景辐射图

NASA 的威尔金森微波各向异性探测器（WMAP）公布了一年的数据，它获得了微波背景辐射的全天数据。结合其他观测数据，仔细分析过背景辐射的不均匀性以后，WMAP 得出了迄今最精确的宇宙学数据：宇宙中物质密度为 0.26，暗能量密度为 0.74，宇宙的年龄为 137 亿年，误差正负 2 亿年。

2004年

美国天文学家亚当·里斯研究了哈勃太空望远镜发现的 24 颗高红移超新星，证实宇宙在大约 60 亿岁之前曾经减速膨胀，其后暗能量才掌控大局，驱使宇宙开始加速膨胀。里斯曾在 1998 年领导了高红移超新星搜寻小组，也可以算是暗能量的发现者之一。

亚当·里斯

2007年

塔玛拉·戴维斯

国际超新星巡天项目 ESSENCE 公布了第一批数据。通过分析 60 颗极其遥远的超新星数据，瑞典天文学家杰斯珀·索勒曼和澳大利亚天体物理学家塔玛拉·戴维斯领导的小组得出结论：爱因斯坦的宇宙学常数仍是描述暗能量最简单、最准确的方式。

合作是人类的本能

撰文 纳塔莉·塞邦斯（Natalie Sebanz）
翻译 周林文

并非需要帮助，人类才会选择与他人合作。大脑中的镜像神经元会让我们不由自主地模仿他人的动作、与人交流；感知与行为间的基本连接，即便在自闭症患者的大脑中，依然完好无损，而这个连接正是合作交流的基础。其实，早在远古时代， 合作意识就已经植根于人类的大脑中！

玛丽亚·尼耶维斯（Maria Nieves）和胡安·卡洛斯·科佩斯（Juan Carlos Copes）都是视阿根廷探戈为生命的人。他们合作了 40 年，是世界上最著名的一对双人舞蹈家。科佩斯曾说：“与尼维耶斯合作，有一种心有灵犀的感觉，如果没有她，我可能需要 4 个不同的舞伴，才能完全发掘出探戈的艺术魅力。”跳过双人舞的人都知道，要让两个风格迥异、能力不一的人配合默契，在时间、空间上配合得天衣无缝，是多么困难的事。

这些与配合有关的问题让不少科学家沉迷其中。且不说科佩斯和尼维耶斯之间的配合已臻化境，就算在普通人的平常生活中，相互间的配合也总是不断出现。开饭前，我们会一起在餐桌上摆

上餐具；举家出游，会共同搬运沉重的行李；交通拥挤时，驾驶员之间会相互协调。其实早在 80 多年前，弗洛伊德就认识到，日常生活中的合作意义非凡。合作时，人们在思想和动作上都得协调一致，而且经常是在没有准备的情况下，合作就开始了。

知识和文化习俗有益于我们更好地合作。假如让你明天去接人，但是除了会面地点在巴黎以外，你对其他信息一无所知。在这种情况下，为了尽可能接到人，人们往往会选择当地的标志性建筑作为碰面地点，比如埃菲尔铁塔，而不是那些叫不出名字的地方。在碰面时间的选择上也有讲究，你会选择在中午 12 点到达那里，而不是凌晨 3 点 50 分，因为对方也会这么做。

模仿与合作

大脑中的镜像神经元使每一个人都有模仿他人动作的冲动。正是由于有意无意的模仿，人与人之间才容易交流与合作。

合作的基础是共识，而这种共识通常只能在交流中产生。两位认知科学家，英国格拉斯哥大学的西蒙·加罗德（Simon Garrod）和爱丁堡大学的马丁·皮克林（Martin Pickering），研究了语言在合作中的作用。

研究人员发现，在一些基本概念上，人们很快就在不知不觉间达成一致。比如，两个人在谈论一条蓝绿色的领带，如果一个人先说那是绿色的，另一个人往往也会这样认为。这种默契大大简化了理解过程，因为在色谱上，蓝绿色介于蓝色和绿色之间，如果说它是一种不常见的颜色，就很容易引起分歧。人们为了流畅地与人交谈，还经常会调整自己的语句结构和语调，以便利于理解。

不过，对于一些无法通过语言来交流的情况，又该怎么办呢？比如跳探戈舞时，两个人需要在快速运动中完成配合，在这种情况下，口头交流就不适用了，因为用语言传递各自想法需要太长的时间。过去几年里，科学家研究了非语言暗示在运动协调中的作用，并发现了一些交流机制，其中很多都是在无意之间完成的。

例如，人们能够在瞬间辨认出另一个人正在关注的焦点，并将自己的注意力投向同一事物。其实早在婴儿时期，人们就拥有这种“联合注意”（joint attention）的能力了。未满周岁的婴儿已经能够顺着别人的目光看了。长到 12 至 18 个月大时，他就已经知道，如果某人和自己盯着同一个东西看，在那一时刻，他们看到的肯定是同一个东西。

美国斯坦福大学的心理学家赫伯特·H·克拉克

■蓝色还是绿色？如果一个人先说那是绿色，另一个人也通常会随声附和。

（Herbert H. Clark）和蒙特克莱州立大学的梅雷迪斯·克里赫（Meredyth Krych）的研究，向人们展示了联合注意对动作配合的重要性。研究人员将参与试验的受试者分为两人一组，让他们用积木搭建玩具模型。在每个小组中，一人扮演“指挥者”，向另一人念出说明书上的步骤。试验结果证明，如果小组中的两人不但有语言交流，而且还能看到对方和积木，他们的工作进展迅速，失误很少。相反，如果他们被分隔开，只用语言交流就很难进行协调。

通常，我们只须瞟一眼，就能看出别人在做什么，那样做会有什么后果。看到有人在餐馆里端着一杯水，我们立刻就知道他要做什么：喝水。很多神经心理学和大脑成像研究都显示，在我们理解他人行为和控制自己的行为之间，有着紧密的关系。

这种联系最初是在恒河猴身上发现的。无论猴子是做某个动作，还是观察同伴做相同动作时，它们大脑前运动皮层和顶叶皮层中的“镜像神经元”都会兴奋起来。随后，科学家又做了许多类似的研究，结果发现人类与猴子一样，做动作和观察别人做相同动作时，大脑中的镜像神经元也会兴奋起来（参见《环球科学》2006 年第 9 期《人们为何喜欢模仿》和《环球科学》2006 年第 12 期《镜像神经元大脑中的魔镜》）。

本文作者

纳塔莉·塞邦斯是美国拉特格斯大学认知心理学副教授。她的研究方向包括感知－行动联系、社会认知、合作行动和意志力。

本文译者

周林文，荷兰阿姆斯特丹自由大学神经科学硕士，心理咨询师。

英国伦敦大学的脑科学家比阿特丽斯·卡尔沃－梅里诺（Beatriz Calvo-Merino）和同事，曾在试验中为芭蕾舞和卡波卫勒舞演员播放过一段舞蹈录像。卡尔沃－梅里诺发现，在看录像时，舞蹈演员的部分大脑区域开始变得活跃，而这部分区域一般只在他们自己跳舞时才会活跃。有趣的是，舞蹈演员看到自己越擅长的舞蹈种类，大脑的活跃程度就越强，而看到其他类型的舞蹈时，比如一个芭蕾舞演员观看卡波卫勒舞表演，他们的大脑灰质细胞的反应就相对较弱。观察到的动作与观察者自己熟悉的动作越相似，在大脑运动神经系统中引发的共鸣就越强。

认知和动作间的紧密联系，也许可以解释为什么我们有时会模仿别人的动作、肢体语言和面部表情。比如说两个朋友在餐馆里喝酒，他们可能会同时举杯；与别人一起坐着聊天时，如果对方的两条腿盘在一起，我们通常也会照做不误。这种下意识的模仿可能是因为对方的动作启动了我们大脑中的动作执行程序，从而让我们不由自主地做出同样的动作。

一些研究人员指出，人类的模仿可能有“社会黏合剂”的作用，能够强化友谊和团队精神。美国杜克大学的丹亚·L·沙特朗（Tanya L. Chartrand）和同事们进行的研究显示，人们往往认为，在谈话中经常模仿对方动作的人更友好；而对对方动作视而不见的人则有点难以接近。沙特朗的研究还指出，那些感觉自己被排挤在社会圈子之外的人，更会抓住一切机会模仿别人的动作，这大概是为了找回已经丢失的亲和力。当我们的行为与别人的行为相似时，就被认为是一种团结的象征。

我与美国拉特格斯大学的同事京特·克诺布利希（Guenther Knoblich）、德国慕尼黑马普学会人类认知及脑科学研究所的沃尔夫冈·普林茨（Wolfgang Prinz）共同完成了一系列研究。这些研究表明，人们与他人合作的习惯已经根深蒂固，即使不当的合作会影响完成任务的效率，人们仍然不会放弃合作。在试验中，受试者坐在电脑屏幕前，观看以手为主题的各种图片，有些手指向左边，有些指向右边。每只手的食指上都戴着绿色或红色的戒指。受试者需要在看到绿色戒指时用右手按右边的键，看到红色戒指时用左手按左边的键，在这个过程中，必须不受图片中手指指向的影响。然而，所有受试者都会受到图片中手指指向的影响，如果戴绿戒指的手指向左边，受试者在按右边的键时就会有点犹豫。

■有了眼神交流就能顺利完成任务。如果指挥者和执行者看不到对方，那么就很难遵照指令行动了。

戒指试验

就算是理解能力不足的自闭症患者，也会表现出合作意向。这就说明，也许在进化早期，人类的合作意识就已经形成了。

后来，我们又重复了这个试验，不过做了少许改动。两个受试者并排坐在电脑屏幕前，但每个受试者只负责按一个键。坐在右边的人只能在看到绿戒指时按右边的键；而坐在左边的人，则在看到红戒指时按左边的键。

图片中手指的方向同样影响了受试者的反应，在手指指向他们所在的方向时，他们的反应速度明显要快一些。然而，当一个受试者独自完成同样的任务时，比如只对戒指的一种颜色作出反应，手指的方向就不会影响他们的反应了。

所以当两个人各负责一部分任务时，他们的表现就像一个人同时完成两部分工作。显然，人们不仅关注自己的任务，还会注意另一个人可能做出的动作。只要那只手指向我的搭档，他将要做出的动作就会自动在我脑袋中闪过。等我意识到尽管手指着我的搭档，但那是我负责的颜色，必须作出反应的时候，时间已悄然溜走了。在接下来对健康受试者进行的试验中，我们发现上述“整体效应”（integration effect）还可以很好地概括其许多试验现象。

那么在神经疾病患者中，会不会缺乏合作的意识呢？比如自闭症患者无法推断出别人在特定情况下会想些什么或者有什么感受，因为他们在体会别人的精神状态方面存在缺陷（参见《环球科学》2006年第12期《自闭症：碎镜之困》）。问题是，这一缺陷是否有损他们把别人和自己的动作联系起来的能力呢？与慕尼黑自闭症患者综合中心的卢伊加德·斯通普夫（Luitgard Stumpf）一道，我们用“戒

指试验”研究了智商正常的自闭症成年患者，看他们在不需要考虑别人就能完成任务的情况下，会不会像普通人那样不由自主地考虑别人的想法。

让我们感到奇怪的是，自闭症患者的行为居然和正常受试者毫无二致。他们执行同样的任务仍会有不同的反应时间，反应快慢取决于他们是单独完成任务还是与他人合作。于是，我们得出了这样的结论：尽管自闭症患者很难从直觉上去体会别人的想法，但在他们的大脑中，感知与行为间的基本连接还是完好无损的，而这一连接正是社会交流的基础。我们还将用其他试验来证明，在需要更强协调能力的情况下，自闭症患者也会表现得同样出色。也许在进化早期，甚至在人们能够推测别人的想法之前，感知与行为之间无意识的连接就已经发展成形了。

集体意识

我们看待这个世界时，不仅会用自己的眼光去看，还会考虑集体的看法。

我们注意到一个有趣的现象。在某些合作模式中，当一个人有所动作时，另一个人就不能轻举妄动。这种轮流交换行动的能力，对于谈话、划船或演奏钢琴二重奏至关重要。从另一个角度看，只有压制强烈的模仿冲动才能合作成功。在实验中，我们可以利用脑电图来测量这种合作对大脑电活动的抑制。脑电图中有一个专门的电生理学指标，叫做 Nogo P3，它可以显示压制住一个动作（例如在实验中，负责对红色戒指作出反应的受试者在看到绿色戒指时，不能去按动电脑键盘）所需要的抑制力强度。确实，受试者在合作完成任务时，我们记录到的抑制力强度要强于他们单独完成任务时的强度。

如果知道将有一位新成员加入，与大家共同完成任务时，我们就会改变对现有形势的判断和原有目标。人们早就知道，对于事物的判断依赖于自身意图和可支配的资源。正如美国弗吉尼亚大学的心理学家丹尼斯·R·普罗菲特（Dennis R. Proffitt）指出的一样，当我们带着沉重行李，眼前的山就会显得更加陡峭，对这一点，所有爬过山的人都深有体会。

同样，人们对于箱子重量的估计也会有所不同，这取决于他是一个人搬还是和别人一起搬。我和玛吉·希夫拉（Maggie Shiffrar）在拉特格斯大学进行的一个实验，向人们演示了这个现象。我们先在几个透明的箱子中装入了不同数量的土豆，然后让受试者在两种情况下估计透明箱子的重量。第一种情况是让受试者认为有人帮忙抬箱子，而

■在演奏二重奏时，需要压制强烈的模仿冲动。

在第二种情况中，我们让受试者认为只能自己搬运箱子。结果表明，受试者在第一种情况下估计出的重量明显低于第二种情况。在一个团队中，即使每个成员在自己一个人搬运时，都能够准确估计箱子的重量，但当他们相互协作时，所有成员都会低估重量。

这些结果表明，我们看待这个世界时，不仅会用自己的眼光去看，还会考虑集体的看法。在制定行动计划时，“有人会与我们一起完成任务”的想法常会影响我们的计划。把他人考虑在计划内的倾向，可能在人类进化之初就出现了。能与别人协调行动的人拥有更多生存优势。最初的合作形式可能是两个以上的人同时做同样的事，比如他们一起推一块大石头来挡住洞口，以免野兽进洞伤害自己。后来，人们开始互补性合作，比如一个人负责追赶动物，另一个人负责抓住它。

我们实验室的研究显示，在纷繁复杂的合作行为中，人类所面临的困难深刻影响了感觉–行动系统和无意识的认知过程。很多时候，合作是一个履行社会责任的过程。SA

扩展阅读

Far from Action-Blind: Representation of Others' Actions in Individuals with Autism. Natalie Sebanz, Guenther Knoblich, Luitgard Stumpf and Wolfgang Prinz in *Cognitive Neuropsychology*, Vol. 22, Nos. 3–4, pages 433–454; May–June 2005.

Joint Action: Bodies and Minds Moving Together. N. Sebanz, H. Bekkering and G. Knoblich in *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 10, No. 2, pages 70–76; 2006.

The Social Nature of Perception and Action. G. Knoblich and N. Sebanz in *Current Directions in Psychological Science*, Vol. 15, No. 3, pages 99–104; June 2006.

怎样激发团队创造力

撰文 约尔格·梅尔霍恩（Joerg Mehlhorn）
翻译 贾明月

禁止批评 ☑ 隐藏主题 ☑
传递方案 ☑ 诱发直觉 ☑
固定角度 ☑ 区分角色 ☑

如何激发个人创造力一直是热点话题，相关研究也层出不穷。不过，一个团队（比如一个办公室、一个组织）可能也需要一点帮助，才能激发团队的智慧火花。下面就是一些激发团队创造力的小技巧，不过我们要从一个“禁令”开始。

禁止批评

对于看似疯狂的想法要有容纳的气量，如果团队成员都没有这样的气量，甚至还有敌对情绪，那么这个团队就不可能想出好点子。只有每个成员都得到充分信任，而且毫无压力时，团队的想象力才会喷薄而出。在团队讨论开始之前，必须要强调的是，对于那些随口就说出自己的想法，想象力太过丰富，甚至会犯点小错误的人，大家都不可以批评。一句“毫无意义”的评论，只会扼杀成员的创造性。

经常策划专业讨论会的策划师都会制定一些会议规则，而其中很重要的一条就是禁止批评。在讨论会上，与会人员一旦草率地给某些判断下了定论，或者过早“枪毙”了某些想法，集思广益的目的就不可能实现，这个会议就算白开了。没有了批评意见，一个团队就拥有了良好的讨论氛围，在这种氛围下，即使生性沉默的人也会大胆提出自己的看法。理想的讨论会包括两个阶段，一个是创意提出阶段，与会人员专门负责提出想法；另一个则是由其他团队参加的分析阶段，他们负责分析上一阶段提出的想法，以甄优劣。

隐藏主题

大多数讨论技巧都建议：与会人数 5 ~ 7 人为佳，最好每个人都有不同的专业背景，会议时间不少于 30 分钟。在很多讨论会上，都是以成员之间直接交换意见为主。只要我们稍作改变，就可以把这种直接式讨论会变成引导式讨论会。在这种讨论会上，只有主持人知道会议主题是什么。主持人可以以一个宽泛的话题拉开讨论的序幕，然后在讨论进行的过程中，逐步缩小话题，最终停留在会议主题上。比如，一个会议的真正主题是为一种食品设计新的包装，但是可以用“你觉得什么东西更有吸引力”这样的普通问题开头。

这种技巧的好处在于，与会人员不会马上把关注点放到最常见的事物上，比如我们每天在橱窗里看到的、相对有限的食品包装方法，受到思维定式的约束。将问题模糊化，不同角度的新奇点子就会脱颖而出。

传递方案

还可以将讨论会转变为另一种形式——“想到就写”。参加会议的 6 个人都拿一张纸，上面有一个表格，3 竖栏，6 行，共 18 个空格。每一个

竖栏代表问题的一个方面——依然以包装为例，这 3 个方面可能是“吸引力”、“新颖性”和“成本”。在表格的第一行，每个人都用简洁的语言写下自己的构想。大约 5 分钟后，每个人将手上的纸传给坐在自己左边的人。这个人须在第二行空格中，对前一个人写出的想法进行补充或者详细阐述。以此类推，直到空格全部填满。一般说来，半小时后就可以得到 108 条意见（6 页纸，每页 18 个空格）。

“边走边想”也是讨论会的一种形式。在一个房间内，各个角落都贴着一张纸或者挂着一个白板，每张纸上（或白板上）都写着一个有待解决的问题，两三个人（一个小组）站在纸前，思考解决问题的方法。每个小组的成员只要一想到好的点子，就立即写在纸上。然后这个小组转移到下一张纸前，他们会看到同事先前写下的文字，然后加入自己的想法。随着会议的进行，想法会越来越多，往往会向意想不到的方向发展。这种形式的会议还有一个好处，那就是四处走动有益于思考问题。

诱发直觉

有时，逆向思维也会带来益处。设计新产品时，可以先从产品的名字入手，然后再去设想一个有价值的创新点。比如说，会议目标是构思一种厨房用品。我们可以先将烹饪和饮食有关的概念列出来（锅、盖、罐子、盘子、烤架），然后翻来覆去地将这些词连接起来。无意之中，我们可能会发明一个词组，比如“盖 – 擦菜板”，这可能就是一种新式产品的名称：将一个罐子的盖子直接做成擦菜板。

固定角度

将想法的概念和价值分离开，这是英国著名创造力专家爱德华·德波诺（Edward de Bono）在 30 年前提出的一项基本原则。他发明的“六个思考帽”（six thinking hats）游戏被广泛用于帮助团队提出和评议想法。

比如，5 个人坐在一个房间里。桌上有 6 组帽子，每组 5 个。各组帽子的颜色都不同，每种颜色代表一个观点。宣布一个议题后，房间里的 5 个人都要戴上相同颜色的帽子，并从与颜色相对应的角度进行讨论。白色代表事实和图表；红色代表直觉、感性和情绪；黑色代表判断与警告；黄色表示只看重一个想法的优点；绿色表示变换思维和自由联想；蓝色则代表调节进度。

游戏开始后，团队成员可以任意调换帽子。比如，戴上红帽子分析得差不多了，有人会说“我觉得该来点儿白色思维了”。于是大家就换上白帽子来商讨数据、调查结果或其他类似的信息。假如情况陷入僵持，成员们可能会戴上蓝色帽子，商量下一步该怎么办。

这个游戏的关键在于，一个给定的帽子会将团队的注意力集中到一个任务上。由于每个人在某一个时刻都只能从一个角度来审视一个想法，这就可以避免了成员之间意见不一，发生争吵。在整个换帽子戴的过程中，参与者会看到想法的优点（黄帽子）和缺点（黑帽子），而且他们还可以不断返回绿色帽子，以求新的灵感。

区分角色

据说，20 世纪最有创意的头脑就是用这种方法来思考问题。沃尔特 · 迪斯尼是著名的漫画家和娱乐业巨头，大家都知道，他在主持与新项目有关的会议时，总会在 3 种角色中选取一种——梦想家、现实主义者或批评家。

选取哪一种角色，取决于在当时的情形下，他最需要哪种角色。

任何希望扮演所有 3 种角色的人，都应该在现实中把他们区分开，比如在房间的 3 个角落分别放置一把椅子。据说迪斯尼为每种角色都专门设置了一个房间：一间宽敞明亮充满魅力，用于梦想；另一间放置了所有必备的技术工具，用于分析实际问题；第三间则很狭小，用于批评。

上述方法会大大提升团队创造力。关键在于把讨论按照不同的需要分解成各个独立的步骤，比如创意部分，现实分析部分和批评部分，以便每一步都能畅通无阻地进行。首先要勇于幻想，再以现实的眼光检验幻想。然后，也只有这时，才允许对想法进行批判。如果这些想法真的具有创造性，那么面对苛刻的评论也应该站得住脚。SA

本文作者

约尔格 · 梅尔霍恩，商业管理教授，德国美因茨创造力协会主席。

本文译者

贾明月，中国协和医科大学基础医学硕士，本刊 2006 年第 11 期“译文擂台”优秀译者。

全球变暖

植物无辜

撰文 弗兰克·开普勒（Frank Keppler）
托马斯·罗克曼（Thomas Röckmann）
翻译 闵庆文 张丹

一份科学报告引起轩然大波：植物也释放出温室气体——甲烷。这一惊人的研究结果震撼了舆论界和公众，一时间众说纷纭，有人竟因此要夷平自己的私家花园，砍倒住宅周围的树木。那么，覆盖在地球表面的绿色植物，究竟是因为吸收了大量二氧化碳而功不可没，还是像有的媒体报道的那样，暗中为全球气候变暖推波助澜，难辞其咎？

作为科学家，当你发现某种事实与教科书存在着明显的矛盾时，你该怎么办呢？ 2005 年，当我们在实验中发现生长的植被释放甲烷（methane）这一温室气体时，这个问题就摆在了我们面前。传统观点认为，只有在无氧条件下生长的微生物（厌氧菌，anaerobic bacteria）才能产生甲烷。但是我们的实验结果却出人意料：绿色植物也产生甲烷，且数量不小。

我们的第一反应，就是检查实验设计是否存在失误，排除任何可能使我们误入歧途的陷阱，但实验结果准确无误。我们马上就意识到，这可能是一项十分特殊的发现。接下来，我们开始思考这一研究结果可能带来的后果，并考虑如何将这一结果告知其他研究者。可以想象，试图说服我们的同行和公众，让他们认可一项连我们自己都很难接受的发现，将何等艰巨——我们不得不反复解释：过去几十年来，众多致力于甲烷研究，并苦苦思考气候变化的研究者，为什么会忽视如此重要的甲烷来源。

天然气

过去 150 年来，由于人类的频繁活动，大气中的甲烷浓度上升到了原来的 3 倍。传统观点认为，甲烷多半来自于湿地和反刍动物消化道，殊不知能够吸收二氧化碳的绿色植物也会释放甲烷。

大多数人都知道甲烷（通常以化学式 CH_4 表示）是天然气。在油田、煤层和气田发现的甲烷，已经成为一种重要能源，而且由于地球石油储量有限，它在将来的地位必将更加重要。每年，大约有 6 亿吨甲烷通过人类活动和自然过程释放到大气中，以往人们普遍认为，这些甲烷主要是由于厌氧菌分解腐烂的非化石有机物而产生的。湿地（如沼泽、泥沼和水稻田）是甲烷的最大来源地，牛、羊和白蚁也因特殊的消化系统而产生甲烷，森林和稀树草原的大火，也像化石燃料的燃烧一样释放出甲烷（见第 35 页图）。多年来，科研人员已经对全球甲烷循环有了广泛了解，2001 年，政府间气候变化专门委员会（IPCC）认为，我们已经大致确定了甲烷的主要来源（尽管仍不确定每种来源所占的比例）。

然而，一些观测资料仍然难以解释。例如，根据冰芯气泡重建的大气甲烷在冰期和暖期存在巨大波动，仍然是未解之谜。但在 2001 年，科学家还不会考虑到植物可以直接释放甲烷，因为没有人会怀疑除了厌氧菌外，其他生物过程也可能产生甲烷。

虽然二氧化碳的年排放量要大得多，但是就产生温室效应的能力而言，1 千克甲烷是 1 千克二氧化碳的 23 倍。过去 150 年来，由于人类的活动，大气中的甲烷浓度已经翻了 3 倍。21 世纪，甲烷浓度还会继续增加吗？甲烷的排放量可以削减吗？气候学家无法回避此类问题，而要回答这些问题，我们就必须了解甲烷的来源及去向。

甲烷水平趋于稳定

20年来，地球的底层大气中甲烷含量剧增。不过最近的研究数据表明，自1998年以来，甲烷含量的增长速度已经开始放缓。甲烷是一种温室气体，虽然含量没有二氧化碳高，但每个分子吸收热量的能力却是二氧化碳分子的23倍。研究人员一致认为，排放量的减小是造成甲烷含量增长放缓的主要原因，但是他们并不确定，究竟是哪里的甲烷排放量减小了，具体减少了多少。目前的主流理论包括：苏联解体造成这一地区能源消耗量降低，采煤过程中甲烷泄漏量减少，以及水稻种植规模缩小等。2006年11月23日《地球物理研究通讯》上的一篇报道公布了这些数据，不过报道并没有预言，这种趋势是否会继续下去。无论如何，甲烷水平的稳定是个好消息，这样我们就有更多的时间，来应付气候变暖的元凶——二氧化碳了。

——戴维·别洛（David Biello）
（译/王栋）

令人震惊的发现

植物每年释放的甲烷量竟达 6,000 万 ~ 2.4 亿吨，占全球甲烷年排放量的 10% ~ 40%！

研究植物释放甲烷的想法，来自于我们对氯甲烷（chloromethane）的研究。氯甲烷是一种对臭氧层有破坏作用的气体氯化物，人们认为它主要产生于海洋和森林火灾。若干年前，我们在英国北爱尔兰农业和粮食科学部工作时，就发现大气中的大部分氯甲烷是由衰老的植物产生的。由于甲烷和氯甲烷一样，是在生物质燃烧过程中释放出来的，所以我们就想知道正在生长的植物是否也会释放甲烷。

为此，我们从热带和温带地区收集了 30 种不同的树叶和草本植物，并放在维持热带地区大气氧含量的小型气候箱中。令人惊奇的是，所有类型的树叶和残枝均产生了甲烷。通常，1 克重的干燥植物材料每小时释放 0.2 毫微克 ~ 3 毫微克甲烷，数量之少，即使采用高度灵敏的先进设备，也难以检测出来。

除此之外，我们还遇到了更加艰巨的挑战，因为我们必须将植物组织（plant tissue）中产生的甲烷，从周围空气中原本就较高的甲烷含量背景中分离出来。我们相信，正是这一困难阻碍着生物学家发现此类现象。我们能获得新发现的秘密就在于：在每次开始实验之前，都用清除了甲烷的空气填充气候箱，以便消除空气中天然甲烷的干扰，这样我们就能测定植物组织释放的甲烷了。

由于意外的发现，我们的好奇心被激发了起来，进而对生长中的植物进行了类似实验。结果发现，甲烷的释放量激增到树叶等植物标本甲烷释放量的 10 ~ 100 倍（见第 36 页图）。经过一系列实验，我们排除了细菌在无氧条件下产生甲烷的可能性。最终的结果让我们确信，生长中的植物释放了大量甲烷。当时我们无法解释植物产生甲烷的机理，只是怀疑一种存在于植物细胞壁的胶质（pectin）参与了这一过程。我们决定对此作进一步研究（目前正在进行之中）。然而，考虑到甲烷在气候变化中的重要作用，我们认为着手研究植物向大气中释放甲烷的总量才是最为重要的。

那么，地球大气所含的所有甲烷之中，植物释放的甲烷可能占到多少呢？虽然一片叶子或一株植物的甲烷释放量很小，但由于大量植物覆盖着地球表面，因此它们释放的甲烷总量一定非常惊人。果然，我们被计算出来的结果吓了一跳：每年植物释放的甲烷量为6,000万 ~ 2.4亿吨，占全球年总排放量的10% ~ 40%，其中2/3左右来自于植被丰富的热带地区。当然，仅从有限的实验数据对全球情况进行推断，难免存在误差。但无论如何，最终的数值仍然太大了——如果我们都对此感到震惊，那么对于我们的许多同行来说，这个数值可能就更加难以置信了。

幸运的是，支持我们研究结果的证据不久就意外出现了。德国海德堡的一批环境物理学家一直在利用卫星从太空观测地球大气。2005年，他们通过卫星观测到热带雨林上空出现了甲烷云层（见第37页图）。他们报告说，这一观测结果不能简单地用现有的全球甲烷来源加以解释。但根据我们的研究结果，他们的发现意义重大，因为绿色植

概述 / 自然的惊人发现

◆传统观点认为甲烷（天然气）是由厌氧菌产生的，但本文作者的研究小组在实验中却意外发现，正常生长的植物也能产生这种温室气体。

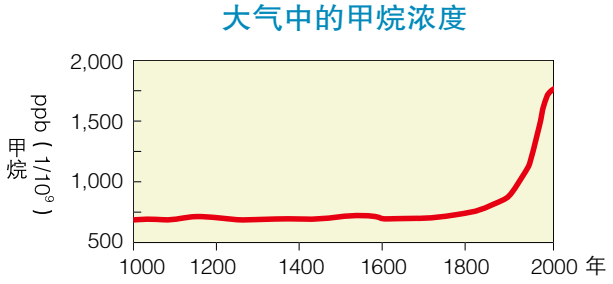
◆尽管这项惊人发现可以解释许多以前令人困惑的现象，但一些科学家对植物产生甲烷，特别是它们产生甲烷的数量，仍持怀疑态度。由于甲烷在吸热方面所起的作用，了解甲烷的来源以及数量就非常重要。

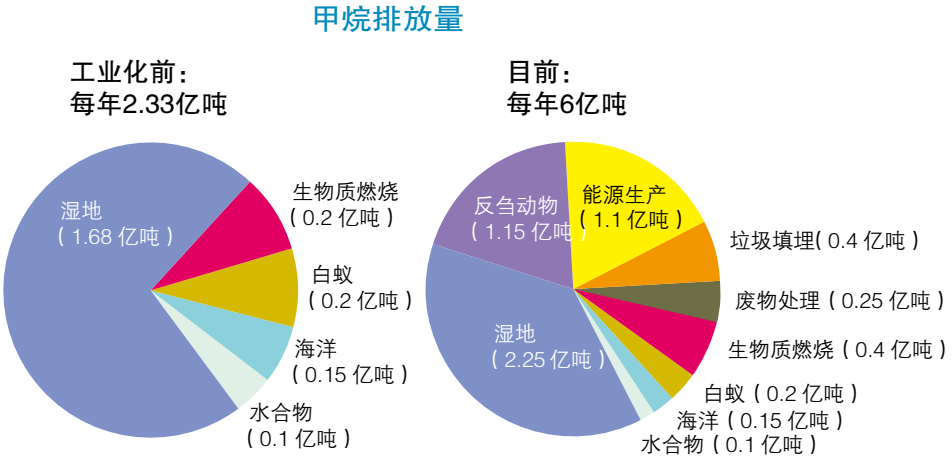
◆早先这项发现曾被错误地解读为，森林实际上会加剧全球变暖。但本文作者强调，近期的甲烷含量增加和全球气候变暖与森林无关。

传统观点

过去 150 年中，大气中的甲烷排放量大约增加了 3 倍（见图），目前每年约有 6 亿吨甲烷被排放到大气中。甲烷排放量的增长引起了人们的关注，因为甲烷与二氧化碳一样，能保持地球大气的热量，从而导致全球变暖。

在本文作者及同事发表最近的研究成果之前，人们普遍认为，所有甲烷的自然释放都来自于潮湿缺氧环境下的细菌活动。这样的环境存在于沼泽、稻田以及白蚁和反刍动物的消化系统之中。对环境中的甲烷来源的分析结果（见饼状图）表明，从 19 世纪中叶以来甲烷浓度的激增，主要来源于人类活动，例如为了获得能量而燃烧化石燃料，由于人口增长而扩大水稻种植及家畜饲养规模等。本文作者的研究工作并不否认甲烷浓度增加的原因，但认为必须对甲烷自然来源的相对比例重新进行估计。





物正是甲烷云层的来源。

1995 年度诺贝尔化学奖得主保罗 · J · 克鲁琛（Paul J. Crutzen）及同事最近所作的研究，则进一步支持了我们的结果。在我们的研究于 2006 年 1 月发表以后，他们重新分析了 1988 年取自委内瑞拉稀树草原的空气样本，并得出结论：这些地区的植被释放的甲烷量为 3,000 万 ~ 6,000 万吨。克鲁琛指出："回顾 1988 年，我们本该有所发现，但是受到甲烷只产生于无氧条件这一传统观念的束缚，坐失良机。"

尽管这些证据支持了我们的研究工作，很多科学家仍然对植物释放甲烷持怀疑态度，尤其是质疑我们对植物释放甲烷数量的估计。因此，我们的一些同事正在采用不同的方法，对植物甲烷释放量进行重新计算。当然，我们迫切需要独立的证据来支持我们的实验发现。

破解由来已久的谜团

甲烷的释放量与全球温度的变化成正比。温度越高，就越能促进地表植被的生长，释放出更多甲烷，连同从湿地和可能从海底释放的甲烷，一起成为气候变化的驱动力。

我们的发现可能解释了困扰气候学家多年的难题：甲烷水平的波动与全球温度的变化同步进行。冰芯是一种天然档案库，其中存储的大气成分和气候变化的信息非常久远，几乎可以追溯到 100 万年前。禁锢于冰芯中的小气泡，揭示了过去大气中气体成分的相对浓度（见第 36 页图）。例如，通过冰芯我们看到，过去二氧化碳浓度的变化与全球温度的变化密切相关。二氧化碳浓度在冰期较低，而在暖期则升高。

本文作者

弗兰克 · 开普勒和托马斯 · 罗克曼在德国海德堡的马普核物理研究所展开合作研究时，发现了植物释放甲烷这一事实。2000年，开普勒获德国海德堡大学环境地球化学博士学位，最近又获得了"欧洲青年研究者奖"（EURYI），在德国美因茨的马普化学研究所建立起了自己的研究团队。罗克曼获德国海德堡大学博士学位，2005年被聘为荷兰乌得勒支海洋及大气研究所教授。

本文译者

闵庆文，中国科学院地理科学与资源研究所研究员、自然与文化遗产研究中心副主任。近期主要从事生态系统服务功能评价与生态补偿、资源与生态安全、区域发展可持续性评价、生态农业与农业文化遗产保护等领域的研究。联合出版专著与文集10多部。

张丹，中国科学院地理科学与资源研究所硕士研究生，主要研究方向为农业生物多样性保护，参加了国际合作项目"稻鱼共生系统全球重要农业文化遗产动态保护与适应性管理"等项目，参与翻译了《2005年未来展望》、《2006年未来展望》等研究报告。

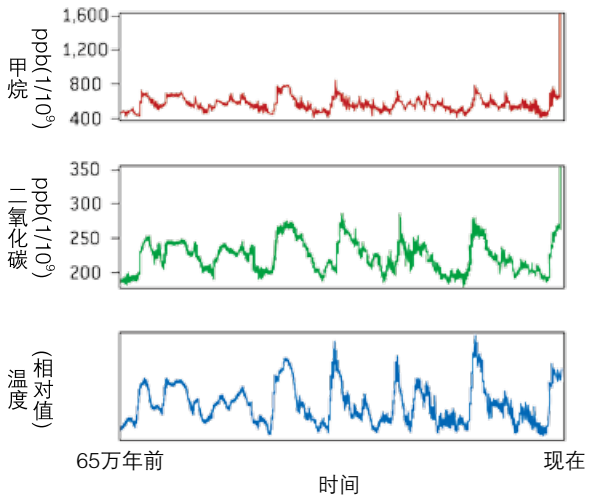
新观点

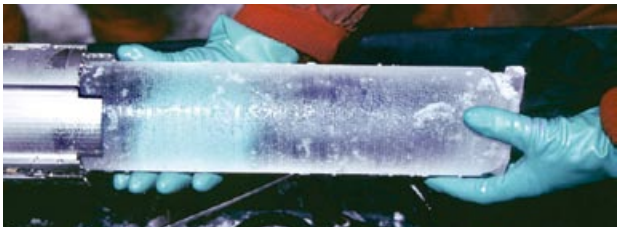
作者的研究小组仔细检查了植物残枝和植物活体释放气体的情况。他们惊异地发现，这些植物居然放出了微量的甲烷。过去，这个重要的甲烷排放源长期被人们忽略。在实验观察之前，研究人员将气候箱中的甲烷清除干净，这个步骤是他们能够发现植物释放甲烷的关键。

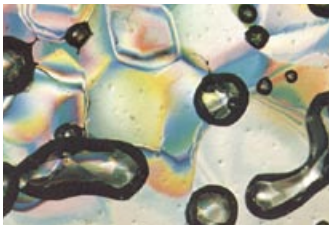
这个新观点能够解释这一令人困惑的现象：甲烷浓度的波动与二氧化碳浓度和全球温度变化一致（见图）。科学家已在冰芯中找到了这些变化的证据。禁锢于冰层中的气泡保存着远至百万年前的大气成分信息，冰层中的氘浓度提供了关于大气温度的信息。大气中较高的二氧化碳浓度和不断升高的温度，很可能导致植被的快速增长，伴随而来的可能就是甲烷的相对大量释放。

■本文作者所做的实验，旨在测量生长中的植被产生的微量甲烷（照片中为黑麦草）。

相似的变化模式







■冰芯（见最左图）中包含着揭示古代大气成分的气泡。在显微镜拍摄的照片中（见左图），薄切片中的气体气泡呈现出黑色，宽约 1 毫米 ~3 毫米。

一般而言，甲烷浓度与二氧化碳浓度的变化趋势相同，但原因尚不清楚。科学家们一直努力利用湿地（以前被认为是甲烷的唯一的自然来源）模型，来重构过去甲烷水平的神秘变化趋势。然而他们发现，通过这种方法很难再现文献记载的冰期和间冰期大气甲烷浓度的差异。

有人提出了另外一种解释，认为这种气体可以以甲烷水合物（又被称为可燃冰）的形式存在。这些类似于冰块的水合物形成于高压环境之下，如海洋底部。在海洋沉积物中，或许以这种方式储藏着数量巨大的甲烷。人们曾经认为，远古时期全球迅速变暖的一个原因，可能就是大量甲烷突然从这些沉积物中释放到大气中。但最近对极地冰芯的研究表明，海洋甲烷水合物至少在过去 4 万年间是稳定的，说明在最近的冰川周期之间大气甲烷的剧增，与这些甲烷水合物无关。

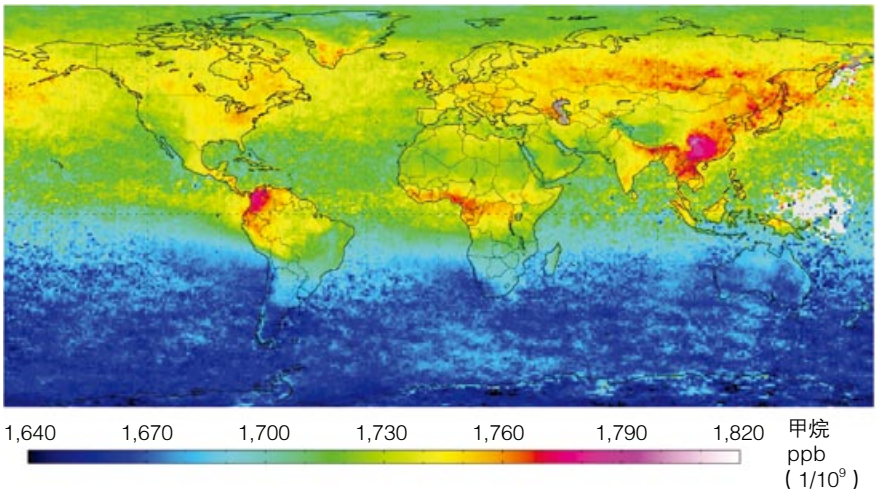
我们知道，陆地植被对环境变化非常敏感，地球上的植被总量随着冰川周期中气候的变化而变化。根据我们的研究结果，植被变化能导致甲烷水平在冰期下降，在间冰期升高。在末次冰期最盛期（大约2.1万年前），亚马孙森林中的植物生长规模仅为现在的一半，因此热带植被释放的甲烷量可能要少得多。从那时起，全球地表温度和二氧化碳浓度一直在升高，促进了植物的生长，按照我们的观点，这一过程也让植被释放出越来越多的甲烷。

类似的气候变化情景，还可能出现在地球的其他地质历史时期，特别是生物大灭绝事件发生的时期。比如 2.5 亿年以前的二叠纪 / 三叠纪更替时期，以及 2 亿年以前的三叠纪 / 侏罗纪更替时期，大气中二氧化碳浓度极高，温度也不断升高，可能促进了植被生物量的激增。这种全球变暖时期，可能伴随着植被甲烷的大量释放，促使气候进

一步变暖。虽然只是推测，我们仍有理由假设：那时的甲烷排放量可能是目前的 10 倍。如果确实如此，那么植被排放的甲烷，连同从湿地以及可能从海底释放的甲烷，就会成为驱动历史气候变化的一股不容忽视的力量。

媒体的误解

不幸的是，媒体对植被甲烷释放量的报道夸大其词，引起公众担忧。实际上，大气甲烷浓度升高的罪魁祸首，还是大规模使用化石燃料等人类活动。



■地球大气的卫星图像支持了作者这项引起争议的研究结果。2005 年，一些环境物理学家观察到了热带森林上空的甲烷云团。甲烷产生的标准模型无法对此作出解释，但作者的发现弄清了这些古怪云层产生的原因：热带地区茂密的绿色植被正在释放甲烷。

就在我们的研究结果公布的当天，BBC 立即加以报道，而且这条新闻的播发顺序紧随在禽流感（bird flu）和伊拉克局势之后。我们立刻意识到了这项研究的重大社会意义。第二天，当全世界的报纸都在头版头条报道我们的研究结果时，这种感觉就更加强烈了。

不幸的是，媒体的报道大多夸大其词，许多报道都声称植物应对全球变暖负责，这可能导致了人们错误理解我们的研究结果。比如，我们在一家大名鼎鼎的报纸上看到，它的头版标题竟是《全球变暖——森林难辞其咎》。

后来，我们收到了许多电子邮件和电话，询问是否应当夷平自己花园中的树木，以缓解全球变暖。我们意识到，与公众的沟通出现了严重错误，不得不另发一篇新闻稿来消除这些误解。

在第二篇新闻稿中，我们强调，如果我们的研究结果是正确的，那么数亿年以来植物一直在向大气释放甲烷。这种释放过程促进了自然的温室效应，据我们所知，没有这种效应，生命就无从谈起。然而，植物不应对工业化开始以来甲烷浓度的激增负责，这种激增是人类活动的恶果。

我们的发现还引发了这样一种担忧：植物排放甲烷可能会削弱、甚至超过重新造林项目的碳存储效果。在《京都议定书》（Kyoto Protocol）中，植树造林被视为一种各国可以采用的二氧化碳减排策略。如果上述担忧成为现实，执行《京都议定书》的国家在这方面作出的努力将毫无意义。但是我们的计算表明，通过造林来吸收二氧化碳给气候带来的好处，将远远大于向大气释放甲烷而造成的相对较小的负效应，这种负效应最多使树木的碳吸收量减少 4%。因此，造林对减缓全球变暖的正面作用是毋庸置疑的。

在这场激烈的辩论中，人们忘记了一个至关重要的事实：植物是我们这个星球的绿色肺叶——它们为我们的生存提供了必需的氧气，同时还发挥了其他一些有益的功能。这里仅举两个重要例子：植物提供了维持生物多样性的自然环境，还控制着热带地区的水分循环。显然，问题并非出自于植物，而出自于全球大规模的化石燃料燃烧。

更合乎情理的担忧应该是：植被产生的甲烷会不会对近期的气候产生影响。尽管不能把工业化以来大气甲烷的激增归咎于植物，但在温暖的气候条件下，植物确实生长得更快。我们预测，植被排放的甲烷随着温度的升高而增加，因此这可能会进一步加剧气候变暖。这种恶性循环可能是一种自然现象，只是由于燃烧化石燃料之类的人类活动加快了它的速度。植物对全球气候变化的这种巨大反馈作用，过去很可能发生过，但今天却不太可能发生了，因为大量森林已经被砍伐。

我们的发现究竟对更遥远的未来气候变化会产生何种影响，现在要确定这一点还为时尚早，但毋庸置疑的是，现在所有的新评估都必须考虑植物甲烷的排放。SA

扩展阅读

The Changing Atmosphere. Thomas E. Graedel and Paul J. Crutzen in *Scientific American*, Vol. 261, no. 3, pages 58 – 68; September 1989.

Climate Change 2001: The Scientific Basis. Edited by J. T. Houghton, y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson. Cambridge University Press, 2001. Available online at www.ipcc.ch/

Methane Emissions from Terrestrial Plants under Aerobic Conditions. Frank Keppler, John T. G. Hamilton, Marc Brass and Thomas R?ckmann in *Nature*, Vol. 439, pages 187 – 191; January 12, 2006.

Methane Finding Baffles Scientists. Quirin Schiermeier. Ibid., page 128.

围剿碳排放全球行动计划

撰文 罗伯特·H·索科洛（Robert H. Socolow）
斯蒂芬·W·帕卡拉（Stephen W. Pacala）
翻译 波特

人类站在十字路口：是冒着极大的风险袖手旁观，还是积极行动起来，拧紧排放温室气体的阀门？今天的选择将决定地球未来的景象。实际上，只要充分利用先进的技术、制定周全的政策，遏制碳排放量并非难事。

消融后退的冰川、日益强劲的飓风、酷热难耐的夏日、日渐消瘦的北极熊……化石燃料不断消耗，导致全球变暖，接连涌现的种种征兆拉响了警钟，迫使企业和政府不得不直面现实。近两个世纪以来，人类年复一年，并且越来越快地把碳带出地表，散布到大气之中。现在，全世界煤、石油和天然气产业每年挖掘、抽取的碳多达 70 亿吨，而人类社会几乎能把它们全部烧光，释放出二氧化碳（CO_2）。越来越多的人意识到，我们必须谨慎行动，遏制二氧化碳排放量不断攀升的势头。

如果大气中的二氧化碳浓度接近 18 世纪工业革命之前的两倍，那么碳排放就不再是一种理论上的愚蠢行为，而会真真切切地带来危险。二氧化碳浓度每一次升高都会带来新的风险，但只要不突破这条警戒线，我们就能降低气候发生巨变的几率，避免出现诸如格陵兰冰盖消失这样无可挽回的灾难性后果。两年前，我们提出了一种简单的框架，根据目标，制定未来二氧化碳的排放计划。

我们不妨对比一下两个版本的未来。在其中一个版本里，排放率增长一直保持着过去 30 年的上升速度，到 2056 年，碳排放量将达到每年 140 亿吨（当然，排放速率也可能稍有起伏）。到了这个地步，即便在接下来的 100 年中，人们能够实现世界能源体系的去碳计划，大气中二氧化碳浓度仍将扶摇直上，达到前工业时代的 3 倍之多。在另一个版本里，人们把二氧化碳排放量锁定在目前的规模（每年 70 亿吨），一直维持到 2056 年，然后再花 50 年时间，让排放量下降一半，由此，我们就能逃脱二氧化碳浓度突破临界线的噩运。请看 40 页左边的图表，在坐标轴上，一种是任由曲线一路攀高，另一个计划则压制曲线的走势，我们把这两条变化曲线中间的差异部分称为“稳定三角”。

在世界经济持续发展的同时，维持全球碳排放稳定，的确是一项令人望而生畏的任务。过去 30 年来，世界商品与服务总产量（GWP）平均每年增长近 3%，而碳排放量的年增长速度只有前者的一半。因此，排放量与全球总产值的比率——也就是全球经济的碳排放系数（carbon intensity），每年能下降 1.5% 左右。要让目前全球的碳排放量维持 50 年不增长，碳排放系数下降的速度就不能只有全球经济增长速度的一半，而应该与之保持一致。

有两种长期趋势肯定会延续下去，并帮助我们达成目标。首先，当社会越来越富裕，教育、健康、娱乐、银行业等等服务部门，将比能源消耗集中的领域（比如钢铁生产）成长得更快。这一趋势本身就能降低碳排放系数。

其次，技术进步带来的深刻变革

概述 / 降低碳排放量

◆人类不能再向大气中释放更多的碳，否则我们将无法掌控气候的变化，陷入前所未有的危险境地。气候学家通常认为，如果大气中二氧化碳的浓度接近 18 世纪之前二氧化碳水平的两倍，危险就会迅速逼近。

◆为了使问题便于处理，需要削减的碳排放量被划分成许多“楔子”，这些楔子对应于运用现有技术可以额外削减的碳排放量。

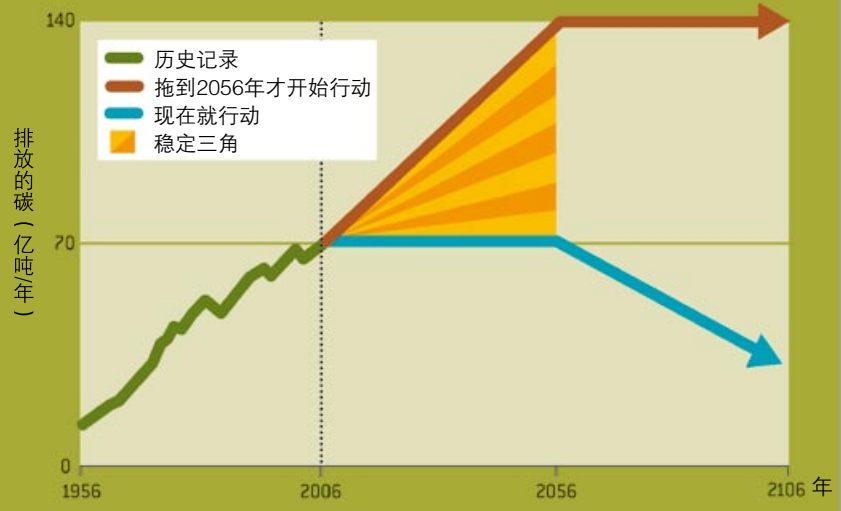
■是冒着极大的风险袖手旁观，还是积极行动起来，拧紧排放温室气体的阀门？今天的选择将带给我们截然不同的未来。

应对气候问题

以目前的增长率计算，二氧化碳的排放量将在2056年增加一倍（下图）。到那时，即使全世界行动起来，降低排放量，大气中二氧化碳的浓度也将突破560ppm（ppm是浓度单位，代表百万分之一），也就是前工业时代二氧化碳含量的两倍（右下图）——这是公认的、会引发气候剧变的警戒线。如果从现在开始，将排放量控制在今天的水平，再逐渐降低，就能把二氧化碳浓度控制在560ppm之下。

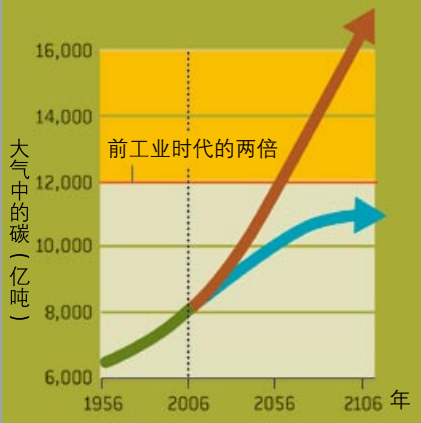
年排放量

两条排放曲线之间的区域被称为“稳定三角”，它代表了排放量的削减总量，在2056年以前，必须充分利用有利气候的技术，达成这个目标。



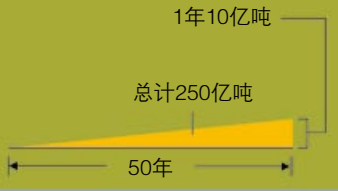
累积数量

1ppm的二氧化碳相当于大气中含有21亿吨碳。因此，560ppm的水平就等于大气中弥漫着大约12,000亿吨碳，而现在的大气中含有8,000亿吨二氧化碳。实际上，这4,000亿差值意味着，我们最多还能排放8,000亿吨的碳，因为二氧化碳排放到大气中后，其中一半会进入地球的海洋和森林。这里显示的两条浓度增长曲线对应着左图的两种排放曲线。



定义“楔子”

稳定三角可以被划分为7个“楔子”，每一个楔子代表到50年内的削减总量为250亿吨的碳排放量。楔子的大小以及它随时间变化的程度，刚好与一种特定技术所能达到的减排目标相符，因此楔子是一种非常可行的划分单位。多种技术组合在一起，就能填满7块楔子。



将促进能源更新换代。今天，数以百计的发电厂可以关门大吉，因为现在的冰箱、空调和发动机比 20 年前更有效率；数以百计的油田和气田放慢了发展脚步，因为航空发动机消耗燃料减少，采用燃气供暖的家庭也能更有效地锁住热量，不至于再从窗户放跑很多的热量。

将全球排放量维持在目前的水平直到 2056 年，暂时还是一个梦想。2056 年的世界可能是全新的：所有汽车、飞机等交通工具都是前所未有的类型；绝大多数建筑都是目前尚未建造的全新楼房；决定建筑位置和居民交流方式的社区规划也尚未确定；业主们才刚刚开始规划为社区提供照明用电的发电厂，一切都有希望。如果人们能在能量效率上投以空前的关注，声名狼藉的低效能量系统就会逐渐退出历史舞台。未来几十年，能源领域可能会发生翻天覆地的变化，因为它还有那么多可供发挥的地方。

为了让减少碳排放的任务更加明确，我们将稳定三角 7 等分，把每一份都当作一个“楔子”，代表从 2006 年开始的 50 年中，每年转移排放量 10 亿吨（把 2006 年的排放量算作起始点 0 吨）。例如，一辆车每年行驶 1 万英里（约 1.6 万千米），燃料效率是每加仑汽油行驶 30 英里（即 30mpg），每年会释放近 1 吨碳。交通专家预测，2056 年全世界将有 20 亿辆汽车在道路上来来往往。假设每辆车每年平均行驶 1 万英里，而平均燃料效率是 30mpg，它们的排气管每年将喷出 20 亿吨碳；如果燃料效率达到 60mpg，碳的排出量就会减半，也就完成了一个楔子的碳削减任务。

精打细算

新技术的广泛应用，将帮助我们完成 7 个楔子的碳削减任务、实现目标。

在我们的计划中，两种预先设定

的碳政策将通向两种截然不同的未来，只有比较这两种情况之后，你才能将差异计入楔子。目前对碳排放增长量的预计，早已把碳排放系数的稳步下降计算在内，而我们的目标是进一步降低这个系数。例如，有些人认为，即使社会对碳排放漠不关心，汽车连续发展 50 年，平均燃料效率也会提升到 60mpg，那么，这种进步就不能算作一个楔子，因为这项进步已经被计算在基本的预测之内。

此外，你只能将那些已经实现商业化的技术考虑在内，可以考虑它们的提升空间，但不能把虚无缥缈的“空中楼阁”也算进来。我们设计楔子框架，就是为了设计出务实、有可行性的解决方案——帮助我们主动出击，而不是坐等兵临城下。我们认为，即使有了这两条计算规则的限制，世界同样可以填满全部 7 个楔子，而且方法还多得很（见下页图表）。不同的国家在同一个国际合作框架下行动，需要确立自己专攻的方向。国家的制度、经济能力、自然资源的占有量以及政策上的偏好，将决定它们会选择实施哪几块楔子。

几乎每一个楔子目标的完成，都需要新技术来降低成本。而且，在新技术的普及过程中，总有新的问题冒出来，需要设法解决。但是我们完全可以达成目标，维持二氧化碳的排放量，同时不影响经济增长。

让传统燃煤电厂的时代彻底结束，是最重要的去碳议程。出于能源安全的考虑（即摆脱对能源进口的依赖），再加上石油和天然气的价格节节攀升，煤炭已经成为一种颇具竞争力的电力和燃料来源。可是，在提供等量电力的前提下，一座燃煤电厂消耗的碳是一座天然气发电厂的两倍。如果不考虑碳排放的问题，今后 50 年，世界上的煤储量足以让我们再兴建几千座大型（发电量达到 10 亿瓦）的传统燃煤电厂。700 座这样的电厂就能释放出一个楔子的碳。因此，世界各国可以采取一些重大措施，取消建设这些发电厂的计划，来冻结碳排放量。现在就该采取行动，因为未来十年内兴建的设施很有可能会持续使用几十年。

要减少煤发电，提高电力使用效率是最直接的方式。在 2056 年 140 亿吨的计划碳排量中，也许将有 60 亿吨来自电力生产，大部分来自煤。住宅和商用建筑占了全球每日电力需求的 60%（美国占其中的 70%），将消费大部分的新增电力。因此，通过配备效率超高的照明和电器设备，把建筑用电削减一半，就可以削减两个楔子。如果工业上发现了更有效利用电力的新方法，就可能再削减掉一个楔子。

从源头掐断

能源技术革新、重新分配不同能源的比例将逐渐压低二氧化碳的排放量。

即使技术突飞猛进，能源利用效率不断提高，这个世界依然需要发电厂。发电厂可以继续用煤发电，但它们应该变成智能电厂，学会捕集二氧化碳，并通过管道输送到地下（参见《环球科学》2006 年 10 月号《埋葬二氧化碳》一文）。石油价格居高不下，反而降低了电厂捕集二氧化碳的成本，因为捕集的二氧化碳通常可以卖给石油公司，注入油田内部，挤榨出更多石油；因此，石油的价格越高，捕集就越划算。为了削减一个楔子，我们需要武装 800 个大型燃煤电厂，捕集并封存这些电厂制造的几乎全部二氧化碳。即使在严格限制碳排放的世界里，采煤业和煤电厂依旧可以运转，这要归功于碳捕集和封存技术（CCS）的发展。

到 2056 年仍在运转的大型天然气发电厂，也可以捕集和封存它们的二氧化碳，也许可以再完成一个楔子的目标。可再生能源和核能源同样可以发挥作用：直接利用太阳光产生可再生电力，制造太阳能电池，要么通过透镜聚焦，加热流体，驱动涡轮机，水力发电和风力发电的能量也都源自太阳驱动的天气系统。可再生电力的间歇性特点，并不会影响它们削减楔子的能力。即使需要煤和天然气发电厂提供后备电力，它们也只须在部分时间内运转（配合能量贮存系统），相比全年运转时，电厂使用的碳也会相应减少。地热能是地球内部蕴藏的热量，并不是严格意义上的可再生能源，但通常也被归为此类。前面提到的任何一种能源，都可以在现有基础上扩大份额，进而完成削减一个楔子的任务。我们必须注意，不要重复计算可能性；同一个燃煤电厂只能建设一次，所以放弃建设也只能算作一次。

所有楔子策略中，核能发电可能是争议最大的。到 2056 年，如果全球核电站的整体规模能够扩大 5 倍，取代传统燃煤电厂，就能再削减两个楔子。如果现在所有的核电站通通关闭，换成没有 CCS 措施的现代化燃煤电厂，结果可能会增加半块楔子的排

本文作者

罗伯特·H·索科洛和斯蒂芬·W·帕卡拉在美国普林斯顿大学领导减碳专题项目。索科洛是普林斯顿大学的机械工程学教授，而帕卡拉则是同校的生态学教授。这一专题项目由英国石油公司和美国福特公司资助。索科洛专门研究能源效率技术、全球碳处理和碳回收，他是《生病的地球》（*Patient Earth*）一书的合作者之一（另一位是约翰·哈特）。这本书出版于 1971 年，是介绍环境学研究的最早的大学讲义之一。他获得过 2003 年度美国物理学会里奥·西拉德讲座奖金。帕卡拉是普林斯顿大学环境学院的院长，研究全球生物圈、大气圈和水圈的相互关系，着重关注碳循环。

削减楔子的 15 种方法

针对未来半个世纪的一套全面减碳政策，需要完成7个楔子的碳削减量。这里有15种方法，我们可以选择其中7种（注意不要重复计算）。每完成一个楔子，都相当于未来50年内阻止了250亿吨碳排放到大气之中。图中保留了一块空白区域，象征着我们还有其他选择。

注释：

1. 到 2056 年，世界在公路上行驶的汽车将达到 20 亿辆。假设它们平均每年行驶 1.6 万千米。
2. “大型”是指装机容量超过 10 亿瓦特（GW），有 90% 的时间在运转。
3. 此处和后面几处均假设燃煤电厂在 90% 的时间里运转，发电效率为 50%。目前的煤燃料电力的输出总量相当于 800 个这样的电厂。
4. 假设捕获了 90% 的二氧化碳。
5. 假设一辆汽车（每年行驶 1.6 万千米，相当于每公斤的氢燃料可以跑 25.2 千米）每年需要 170 千克的氢燃料。
6. 假设每天需要 3,000 万桶的合成燃料，大约相当于今天石油总产量的 1/3，并假定最初包含在煤中的碳有一半被捕集。
7. 假设风能和太阳能生产峰值电力的效率平均为 30%。那么取代 2,100GW、90% 工作时间的煤电力，就需要 2,100GW 的风能或太阳能电力，外加上 1,400GW 的后备煤电力。这些可再生电力的净取代额是 700GW。
8. 假设每公升能跑 25.2 千米的汽车每年行驶 1.6 万千米，1 公顷土地的生物产量是 15 吨（忽略化石燃料投入）。世界农田共有 15 亿公顷。
9. 目前砍伐森林增加的碳排放量为每年 20 亿吨。假设到 2056 年，在放任自流的未来，砍伐率会下降一半，而在严格控制排放的未来，砍伐率将下降到零。

放量。核能发电的比例是增还是减，取决于各国政府能否找到处置核废料的解决方案，以及核电站能否安全运转（核电站都是一根绳上的蚂蚱，一座运转状况不佳的核电站会毁掉世界上其他所有核电站的前途）。制定严格的法规，以防民用核技术转化为核武器，也是至关重要的。这些法规必须适用于所有国家，避免双重标准。

2002 年，石油排放的二氧化碳占到全球化石燃料排放量的 43%，煤占了 37%，剩下的是天然气的份额。超过一半的石油都耗费在交通运输上，因此，仅仅削减电力生产过程的碳排放量，并不能填满整个稳定三角，运输行业也必须去碳。与燃煤发电一样，在减少使用、改进功效和能源去碳这三个互为补充的选项中，任何一项都至少能削减一个楔子。人们可以减少不必要的行程（用远程办公代替出差），乘坐更加高效的交通工具出门旅行，这些车辆还可以用低碳燃料来驱动。这些低碳燃料也有多种选择：可以用农作物残渣或专门种植的农作物加工制成燃料，也可以用低碳电力制成氢燃料；甚至可以直接用低碳电力给车载电池充电。低碳电力的来源包括风能、核能，还有经过 CCS 处理的煤炭。

未来的交通运输系统将更依赖煤炭，从能源安全的角度出发，这个前景无疑非常诱人。如果用于交通运输的燃料可以从煤中提取，而不是石油，这个前景就会成为现实。以煤为基础合成的燃料，即所谓的合成燃料（synfuel），提供了一条降低全球石油需求的途径，不仅节约成本，也减少了全球对中东石油的依赖。但对气候而言，这绝对不是个好策略。一辆合成燃料动力车与一辆汽油动力车释放的二氧化碳相差无几，但合成燃料的制作过程中释放的碳却大大超过从原油中提炼汽油时释放的碳——足以使车辆行驶每英里的排放量翻一番。不过我们可以捕集并封存合成燃料工厂排放的碳，从缓解气候变化的角度考虑，无疑是不幸中的大幸。如果目前的趋势继续发展下去，合成燃料的广泛采用将锐不可当，那么在合成燃料工厂捕集二氧化碳，也可能削减一个楔子。

并不是所有楔子都和新的能源技术有关。如果全世界农民都采用免耕农业（no-till agriculture）取代传统的耕作方式，他们将为削减一个楔子做出贡献。（土壤翻耕会将有机物氧化，释放出 CO_2，而免耕法用农药控制杂草和病虫害，有助于增加土壤的碳固定。免耕法还提倡把秸杆留在田地里滋养土地，避免了燃烧秸杆造成的污染。）与任由人们砍伐森林、以目前的速率继续砍伐下去的情况相比，全面禁伐可以消减两个楔子。目前甲烷对温室效应的影响是二氧化碳的一半左右，减少这种气体的排放量，也可能削减一个楔子（我们还需要进一步了解家畜、稻谷和水田中厌氧微生物的甲烷排放情况）。降低出生率也是办法之一：比方说目前预计，到 2056 年，全球人口会达到 90 亿，但如果到 2056 年，我们能把全球人口维持在 80 亿左右，而不是目前预计的 90 亿人，那么又可以削减一个楔子。

行动计划

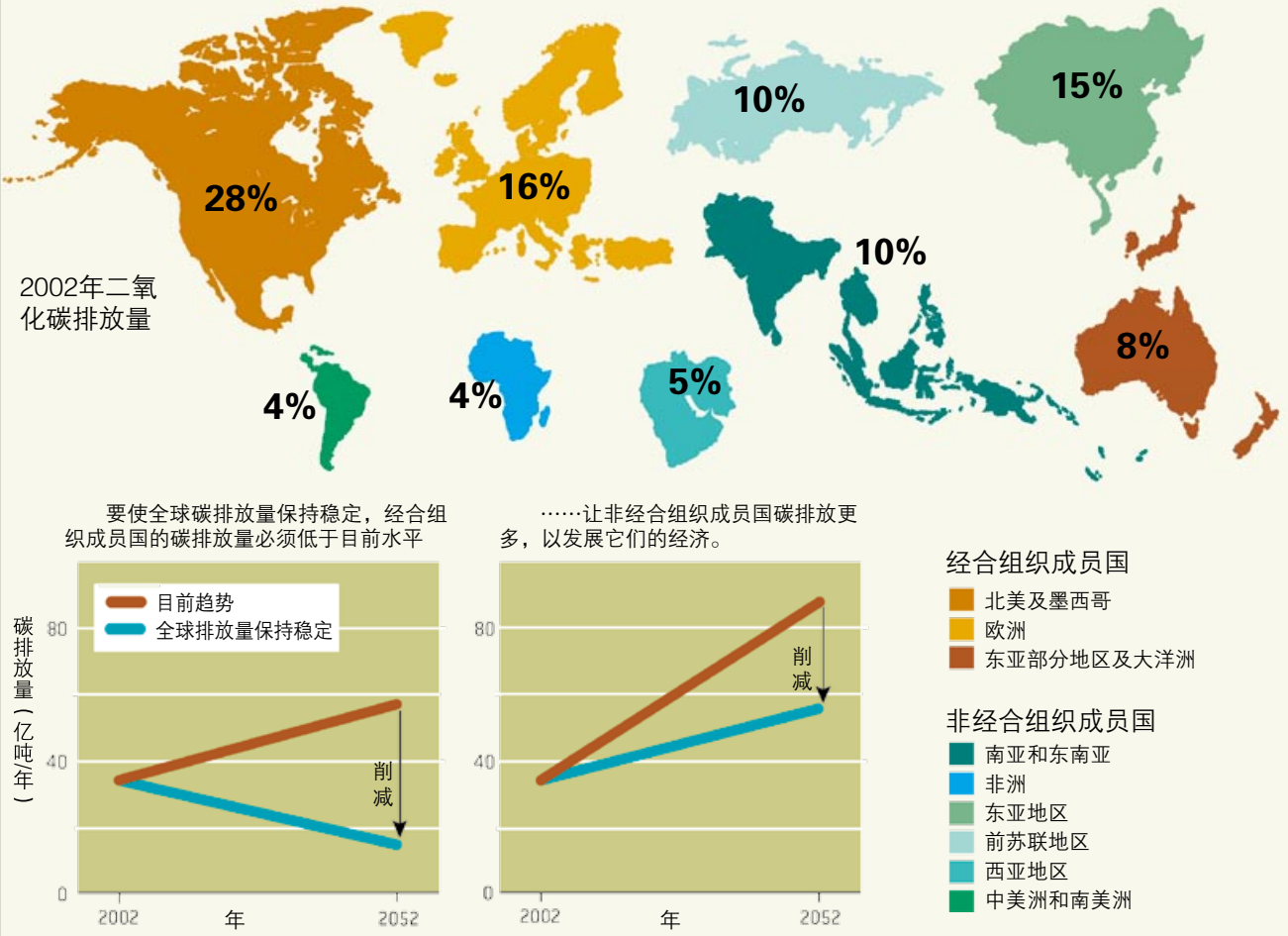
如果来自石油的碳排量升高，就要把来自天然气和煤的碳排量压低；如果第三世界的碳排量增长，发达国家就应该减低碳排量……一切都是为了限制大气中二氧化碳的水平。

什么样的策略组合能完成 7 个楔子的削减？需要明确一点：我们预计，化石燃料体系应该会发生巨变（包括对 CCS 技术的常规应用），但这些巨变必须依靠一定的制度才能实现，这些制度必须为现在和未来的碳排放制定出适当的价格。按照我们的估计，要想帮助这种转变迅速启动，每吨碳排放的价格必须在 100 ~ 200 美元之间——煤电厂管理方会发现，实施 CCS 比直接排放更划算。随着技术进步，价格还有下降的空间。在美国，每吨 100 美元的碳排放价格，与目前美国为可再生能源和核能提供的生产补贴（与煤炭发电）大致相当，是美国给乙醇类能源提供的补助金额（相对于汽油）的一半左右。这个价格也符合 2005 年到 2006 年间，欧盟排放交易体系中二氧化碳的排放价格。（3.7 吨二氧化碳才包含 1 吨碳，相当于每吨二氧化碳的价格为 27 美元。）如果根据碳含量计算，对每吨碳排放收取 100 美元的价格，相当于对每桶石油加收 12 美元，对每吨煤加收 60 美元；再进一步讲，就相当于对每加仑汽油加收 25 美分，对燃煤电厂生产的每千瓦时电量加收 2 美分。

但是，仅有一个二氧化碳的排放价还是不够。政府也许需要鼓励低碳技术商业化，增加切实有效的备选技术，丰富我们未来的选择（比如风力发电、太阳能电池发电和复合动力车就是很好的选项）。当然，我们也需要一些政策，防止人们兴建那些与未来政策有冲突，服役生涯又很长的重大设施。例如，现在就应该鼓励人们在兴建燃煤电厂的时候，把 CCS 技术考虑进去，如果以后再来改造，费用反而更高。同时，另定一套政策，鼓励能源供应商提高能源的使用效率，例如：引导发电厂关注高效电器的安装和维护；促进天然气公司关心使用天然气的建筑；激发石油公司注意采用石油燃料的发动机。

贫穷的世界和富裕的世界

如果想让全球碳排放量保持稳定，不论是发达国家（此处定义为经合组织成员国），还是发展中国家，都需要削减炭排放量（如下方坐标图中的箭头所示）。图中的变化只代表了一种可能的未来。



为了把排放量维持在目前的水平，如果其中一类的排放量上升，另一类的排放量就必须下降。比如来自天然气的碳排放量升高了，石油和煤的碳排放量就必须相应降低。如果航空运输的碳排放量上升了，其他经济领域产生的碳排放量就必须下降。如果现在的贫穷国家排放更多二氧化碳，现在的富国就必须减少二氧化碳排放。

减排到多少才算合适？答案显而易见。目前，经济合作与发展组织（OECD）成员国，也就是工业化国家的二氧化碳排放量几乎占到全球二氧化碳排放量的一半，而发展中国家加上前苏联各国才占到了另一半的份额。在一个碳排放总量保持稳定的世界里，OECD 成员国继续霸占 50% 的份额似乎不太公平，因为世界上 80% 的人口都生活在非 OECD 国家，他们的能源需求长期受到压制。不过，到 2056 年，OECD 成员国必定还是会占一定的份额。简单算算就会发现，为了保持全球排放速率的稳定，非 OECD 国家的排放量增长再快，也不能翻番。

我们来看看折中的方案：如果所有 OECD 成员国都能实现 2003 年英国首相布莱尔倡导的英国碳排放缩减目标，那么，到 2050 年，相对于现在的水平，碳排放量将削减 60%，而非 OECD 国家的碳排放量可以提高 60%。平均看来，到本世纪中期，非 OECD 国家的人均碳排放量将达到 OECD 成员国的一半。与我们此前预计的、没有气候政策、放任自流的未来相比，在这种情况下，不论是富国还是穷国，每个国家的二氧化碳排放量都会大大降低。比如美国的二氧化碳排放量就将降低大约 3/4。

如果美国能借鉴，并实现布莱尔提出的目标，那么每个美国人的平均

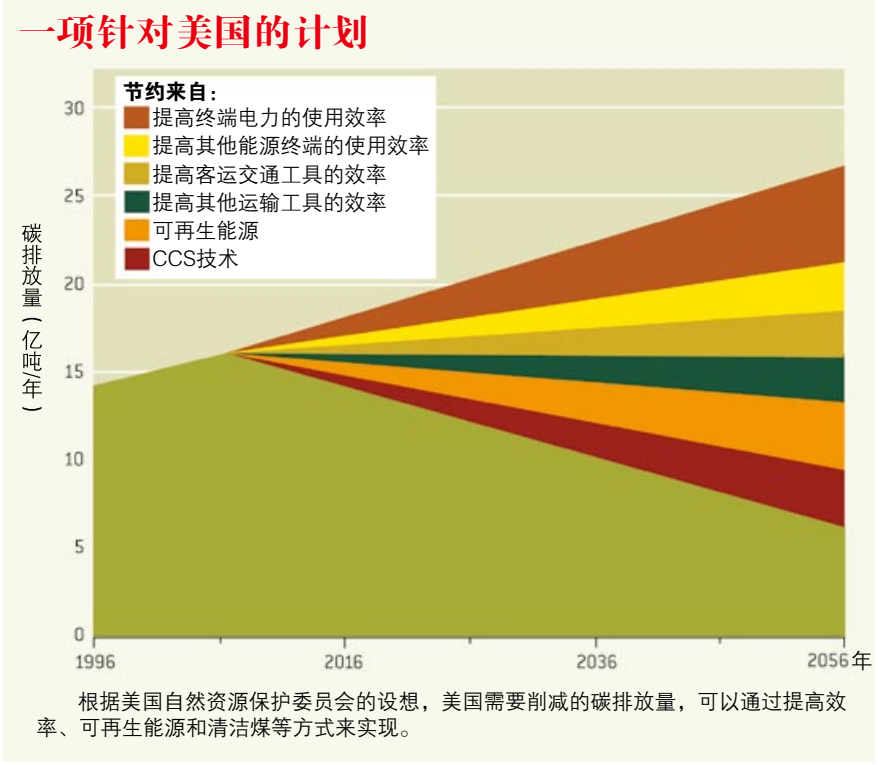
碳排放量将下降到世界平均水平的两倍（现在是 5 倍）。美国可以采用许多方式来达成目标（见右图）。其他国家也可以效仿。这样相互借鉴，相互配合，最终将降低所有国家的去碳成本。

幸运的是，去碳的目标与消除世界极端贫困的目标并不冲突。各国向世界上最贫穷的人民加速传输电力和现代燃料的同时，确实产生了额外的碳排放量，但是只要在其他方面再削减最多 1/5 个楔子就可以了。

超越 2056

2056 年只是我们的第一步目标，接下来的 50 年、100 年都不能放松。整个世界的能源生产和能源效率将逐步提高，电器、交通工具、建筑以及它们的使用方式都会脱胎换骨。

稳定三角只不过是未来 50 年的策略。我们可以设想，这是一场以 50 年为一段的接力赛，第一位选手将在 2056 年把接力棒交到下一位运动员手中。公平起见，两位参赛者的任务难度应该差不多。如果从今天到 2056 年，我们在科学技术研发方面的投入跟得上发展的脚步，那么，第二位运动员的任务（在 2056 年到 2106 年间，将碳排放量在 2056 年的基础上削减一半）似乎就不会比第一个 50 年的任务（在 2056 年以前，将全球排放量稳定在目前水平）更困难。如果这一阶段的成果比较理想的话，将能为后一阶段提供革命性的技术，使本世纪后半叶的工作有个更高的起点。备选技术包括：从空气中直接净化二氧化碳的技术、CCS 技术、核聚变发电、核热能产氢，以及人造光合作用等。可以肯定，这些技术中的一种或几种将在第一个 50 年内及时到位，帮助第一位选手。不过，此前已经提到，不能把这些技术算在计划之内。



根据美国自然资源保护委员会的设想，美国需要削减的碳排放量，可以通过提高效率、可再生能源和清洁煤等方式来实现。

如果 2056 年全球碳排放量真能稳定在今天的水平，那时，我们可以回头看看，自己完成了怎样的一项伟业——在经济行业和发展程度各异的所有经济体中，世界的能源生产和能源效率都将满足消费者的需求。建筑、照明、冰箱、轿车、卡车和飞机全都脱胎换骨。除了物品本身，脱胎换骨的还有我们使用这些物品的方式。

世界仍将保留一套化石燃料能源系统，虽然和目前的规模一样大，却引入了现代控制技术、先进材料和今天几乎无法想象的清洁系统。世界上将出现电力、燃料和热能的综合生产体系；空气污染和水污染大幅度降低；CCS 技术得到广泛应用。一套非化石能源系统会与化石能源系统并存，规模大体相当。可再生能源将直接或间接地实现大量生产，从而复兴乡村地区，恢复退化的土地。如果核电扮演了一个重要角色，国际间就会出现一套强有力的执行机制，严防核技术从能源领域向武器领域扩散。经济增长得到延续；穷人和富人都会更富裕。我们的后代将不必耗费如此之多的人力、财力和物力，与海平面上升、高温、飓风和干旱展开天人交战。

最重要的是，人们将学会关注全人类共同的命运，学会共同分享这个星球。SA

扩展阅读

Stabilization Wedges: Solving the Climate problem for the Next 50 years with Current Technologies. S. pacala and R. Socolow in Science, Vol. 305, pages 968 - 972; August 13, 2004.

The calculations behind the individual wedges are available at **www.princeton.edu/.cmi**

Energy statistics are available at **www.eia.doe.gov, www.iea.org** and **www.bp.com**; carbon emissions data can also be found at **cdiac.esd.ornl.gov**

咖喱医生

撰文 加里·斯蒂克斯（Gary Stix）
翻译 杜珍辉

东方的调料，引起西方医学界的轩然大波。咖喱的主要成分姜黄，原本只在印度医学和中医中偶尔使用，近年来却被西方医学界誉为“植物黄金”：科学家们在试验中发现，姜黄对治疗心血管疾病、糖尿病和癌症有特殊的功效。但也有一些研究结果表明：姜黄可能会促进肿瘤生长。姜黄到底是治病的良药，还是致癌的毒药？

古代药师寻找新药不外乎两种途径：参考古籍药典，或仿效神农采尝百草。虽然这些古老的方法已经淡出历史舞台，但它们为人类的贡献并不会因此而被抹煞。（我们熟知的许多药物都源自乔木、灌木、软体动物，甚至污泥。）在柳树皮中，人们发现了阿司匹林；从霉菌中提取到了他汀类降胆固醇药物；从传统中药中分离出了青蒿素类抗疟药。20 世纪 90 年代，美国沙曼制药公司投入了 9,000 万美元，用于当地天然药物的开发。直到陷入产品只能作为营养添加剂出售的窘境，他们才从这份狂热中清醒过来。几年前，这家公司终于关门大吉。

现在，天然产物再次引起了人们的关注。最近一段时间，红酒中的白藜芦醇（resveratrol）、鱼肝油中的 ω–3 脂肪酸等天然产物吸引了不少科学家的目光，因为一些研究表明，这些天然产物可能具有治疗和预防疾病的功效，而且成本低廉、副作用少。让人意外的是，一种天然调味品也引发了研究热潮。姜黄（*Curcuma longa*）是一种草本植物，原产亚洲。从远古时代开始，用姜黄根制备而成的橙黄色姜黄粉，就一直是食品调料咖喱、防腐材料宾达鲁和坦肚喱的主要成分。但是今天，姜黄粉的功能也许要重新定义了。

在一本即将出版的著作中，专门写到了姜黄的生物活性成分——姜黄素（curcumin）及类姜黄素（与姜黄素类似的化学成分），认为这些成分具有抗氧化、抗菌消炎、抗病毒和抗真菌的作用，甚至还能治疗癌症、糖尿病、关

节炎、阿尔茨海默病和其他慢性疾病。2000 年，在美国国立医学图书馆的 PubMed 数据库中，能检索到的有关姜黄素的科研论文仅为 100 篇左右，而 5 年后已经增加到了 300 篇。

由于姜黄素极具药用价值，而且几乎无毒副作用，大批科学家致力于对姜黄素的研究。有些科学家甚至开玩笑说，自己已经成了名副其实的姜黄素学家。作为治病良药，姜黄还有一些引人注目的生物学特性。它能作用于众多生理过程，可能有益于治疗癌症：癌细胞对姜黄素的耐药性不会很快形成，因为它们必须通过多重突变来抵御姜黄素的多方位攻击。

那么姜黄素是不是很快就可以广泛应用呢？一些研究结果为我们敲响了警钟。目前，在 PubMed 数据库中，有 1,700 多篇文献报道表明，如果一种药物能够同时影响多个生理过程，这种药物就有可能错误地作用于某个过程，反而加重病情。

姜黄素的“成长史”

姜黄在北印度语中名为“haldi”，塔米尔语则称它为“manjal”，它的药用历史可以追溯到 5,000 年前。那时，姜黄是印度传统草药养生疗法（阿育吠陀）中的一种药物，常用于创伤愈合、净血排毒、治疗胃病等。

1970 年， PubMed 数据库收录了第一篇有关姜黄素生物活性的报道——印度的一个科研小组研究了姜黄素对大鼠胆固醇浓度的影响。进入 20 世纪 90 年代后，研究步伐加快了，领军人物之一就是基因工程技术公司 (Genentech) 的前科学家巴拉特·阿加沃尔 (Bharat Aggarwal)。在转向姜黄素的研究前，他一直在尝试其他癌症治疗方法。

20 世纪 80 年代，在基因工程技术公司，阿加沃尔领导了一个研究小组，首次从细胞中提取了两种具有潜在抗癌活性的关键免疫分子：肿瘤坏死因子 α（TNF–α）与 β（TNF–β）。当这些分子的作用范围仅限于局部时，它们的确能杀死癌细胞，但是只要进入血液循环，它们的性质会立即发生改变，反而成了癌症的“帮凶”。其机理可能在于，肿瘤坏死因子激活了关键蛋白——核因子 – κ B（NF– κ B），启动了多种与炎症反应、细胞增殖有关的基因的表达。

炎症反应与癌细胞增殖失控之间的联系，促使阿加沃尔不得不重新审视自己的研究。1989 年，他进入了美国得克萨斯大学的 M·D·安德森癌症中心，开始寻找具有消炎、抗癌功效的药物。阿加沃尔的青少年时期在印度度过，知道阿育吠陀文献里有姜黄作为消炎药的记载，因此他决定给姜黄一个机会。他回忆说：“当时，我们从厨房里拿了些姜黄，然后把它与细胞混在一起，看看有什么反应。观察到的结果让我们几乎不敢相信：肿瘤坏死因子和核因子 – κ B 的功能居然完全被抑制了！”

阿加沃尔继续研究，不断展示自己的研究成果：用姜黄素阻断核因子 – κ B 的作用途径，就能抑制多种癌细胞的复制和扩散。当安德森癌症中心进行早期小规模临床试验时，以姜黄素为辅助药物，治疗前列腺癌以及多发性骨髓瘤的过程中，正是以阿加沃尔的研究成果作为实验依据。后来，他们又将矛头指向结肠癌和阿尔茨海默病等疾病。初期的细胞和动物实验结果表明，姜黄素可用于治疗一系列炎性疾病，包括胰腺炎、关节炎、肠炎、大肠炎、胃炎、过敏症以及发烧等，而且可能对糖尿病、自体免疫和心血管疾病也有一定的治疗作用。

姜黄素的抗癌活性，以及它对其他疾病的疗效需要大型临床试验来证明，这些试验仍在进行当中。尽管如此，阿加沃尔已经成为了姜黄素的积极倡导者。在他与别人合编的一本教科书中，有一章甚至以《姜黄素：印度的植物黄金》作为标题。

在全球癌症研究领域，M·D·安德森癌症中心颇具影响力，该中心已经开始推进姜黄素的应用，完全不把它看作是一种未经临床试验全面而严格检验的备选药物。在安德森癌症中心网站的“疑难解答”板块（FAQ），常常鼓励消费者去指定的批发公司那里购买姜黄素，阿加沃尔还为那家批发公司做形象代言。那家公司还专门发布新闻稿，宣称产品是安德森癌症中心的推荐药品。

FAQ 板块建议，癌症患者每天服用姜黄素的剂量应逐步提高到 8 克，大约是印度人日常饮食中平均摄入量的 40 倍。相比之下，其他大多数药物的摄入量都控制在毫克级（千分之一克）。安德森癌症中心网站甚至一度宣称：“服用姜黄素 8 周后，患者的病情会有明显好转。”当被问到 8 克的剂量太多，是否会导致副作用时，阿加沃尔回答说，在

▶环球科学小词典

印度传统药草养生疗法，印度使用药草养生已经有 5000 年的历史，阿育吠陀（Ayurvedic）即是以印度医书上记载的理论为基础，利用药草不会影响新陈代谢而又能渐渐发挥药效的特点来进行治疗，阿育吠陀主张医生应要先了解影响身体状况的外在环境和原因，才能找出适合的治疗方法。

其他研究机构进行的小规模临床试验中，病人服用姜黄素的剂量已经达到了 12 克。如果病人按照安德森癌症中心的推荐剂量用药，而出现任何不良反应的话，他早就得到通知了。阿加沃尔每天坚持服用一片姜黄素，在全面控制的大规模临床试验完成之前，他的这一举动打消了不少研究人员的疑虑。他说："市面上有很多药物可供选择，但我认为'姜黄在口，别无他求'。"

姜黄素会引发癌症吗?

不论是安德森癌症中心的 FAQ 板块，还是其他研究机构发布的各种各样的新闻稿，都一边倒地赞叹姜黄素的神奇，不过，也出现了一小部分负面报道。这些报道指出，姜黄素有时也可能会提高癌细胞的存活率。2004 年，以色列雷霍沃特市魏兹曼科学研究院分子遗传学系的优素福·沙乌尔（Yosef Shaul）在研究醌氧化还原酶 1(NQO1) 时，发现这种酶可以调控"明星"蛋白——p53 蛋白的生成量。当细胞中 p53 蛋白的浓度增加时，就会诱导癌变或受损细胞停止分裂甚至"自杀"，从而对机体起到保护作用。

沙乌尔和同事已经发现，双香豆素类抗凝血剂会抑制醌氧化还原酶的活性，阻止 p53 蛋白发挥功能。那么在正常细胞和髓性白血病细胞中，添加姜黄素和白藜芦醇，p53 的功能又会发生什么变化呢？实验结果令他们大吃一惊：姜黄素居然也会抑制醌氧化还原酶活性，阻止 p53 将变异细胞送上"断头台"。2005 年，他们在《美国国家科学院院刊》发表了这项研究成果。其他研究人员也陆续得到了类似结果。对此，阿加沃尔不以为然，指出也有研究报告得出了相反的结论，认为姜黄素会激活 p53 蛋白的活性。

沙乌尔的研究结果能否真实反映姜黄素在人体内的作用过程呢？在细胞的培养基中，魏兹曼科学院的研究人员加入的姜黄素浓度大概为 10μM ~60μM（微摩尔，等于百万分之一摩尔），这与安德森癌症中心的试管实验使用的浓度大致相当。沙乌尔指出，虽然姜黄素在胃肠道和肝脏中的浓度范围波动较大，但它很难从肠道直接进入人体血液循环，而且一旦进入人体，姜黄素就会被快速降解。因此，即使病人摄入的姜黄素多达 8 克，病人血浆中的姜黄素浓度可能也不会超过 2μM。当然，如果研究人员能够找到提高血液中姜黄素浓度的办法，那么这种浓度也会继续上升。

安德森癌症中心的 FAQ 板块给人们留下不可磨灭的印象：每天就应该服用 8 克姜黄素。但是，如何解决血液中姜黄素含量过低的问题？如果姜黄素确实有疗效，那么应该如何提高人体对它的吸收度？这些都是科研人员面临的大难题。其实，在那些研究人员广为引用，暗示姜黄素有众多益处的动物试验中，动物的服用量通常不超过 8 克，而且血液中的姜黄素含量一般为纳摩级（十亿分之一摩尔）。沙乌尔对此也大惑不解："我们也不清楚为什么在动物实验中，姜黄素的浓度如此低，就会有那么好的效果。"

对一种新药来说，服用剂量就意味着一切。包括阿司匹林在内的任何药剂，如果服用过量，就会变成致命的毒药。多数新药在进入临床试验之前，为了确定服用剂量，以达到最佳血浆浓度，常常以培养的细胞和老鼠为试验对象，进行一轮又一轮的临床前试验。但对于姜黄素，制药公司似乎都不想率先进行这些试验。他们对针对性更强的药物

显示姜黄素有治病疗效的最新研究

疾病	发现	研究机构	发表杂志及时间
类风湿性关节炎	姜黄根部提取物，可以抑制大鼠骨关节炎及关节损伤。	美国亚利桑那大学医学院	《关节炎与风湿病》(*Arthritis and Rheumatism*) 2006 年 11 月
阿尔茨海默病	试管实验表明，姜黄素有助于免疫细胞降解阿尔茨海默病的斑块成分。	美国加利福尼亚大学洛杉矶分校和退伍军人管理局	《阿尔茨海默病杂志》(*Journal of Alzheimer's disease*) 2006 年 10 月 9 日
结肠癌	细胞实验发现，姜黄素可以抑制一种诱发结肠癌的激素的活性。	美国得克萨斯大学格维斯顿医学院	《临床癌症研究》(*Clinical Cancer Research*) 2006 年 9 月 15 日
大肠息肉	姜黄素与槲皮素联合使用，可减少 5 位患者癌症早期病灶数量和大小。	美国约翰·霍普金斯大学和克里福兰医学中心	《临床胃肠病学与肝脏病学》(*Clinical Gastroenterology and Hepatology*) 2006 年 8 月
认知障碍	对新加坡有或多或少食用咖喱习惯的 1,000 多位老人调查发现，相比那些极少或从未食用咖喱食物的老人而言，他们的认知测试分数更高，这有可能是姜黄素的"功劳"。	新加坡国立大学和其他研究机构	《美国流行病学杂志》(*American Journal of Epidemiology*) 2006 年 11 月

但是一些研究显示姜黄素可能诱发癌症			
疾病	发现	研究机构	发表杂志及时间
髓性白血病	细胞培养时，高剂量姜黄素可促使 p53 蛋白分解，而这种蛋白可阻止癌细胞复制或诱导癌细胞凋亡。	以色利雷霍沃特市魏兹曼科学研究院	《美国国家科学院院刊》(*Proceedings of the National Academy of Sciences USA*) 2005 年 4 月 12 日
结肠癌	姜黄素可抑制 p53 蛋白对结肠癌肿瘤细胞的抑制功能。	美国犹他大学	《癌症形成》(*Carcinogenesis*) 2004 年 9 月
乳腺癌	细胞培养和动物模型实验发现，姜黄素可导致几种化疗药物诱导细胞死亡的功能失效。	美国北卡罗来纳大学查佩尔希尔分校	《癌症研究》(*Cancer Research*) 2002 年 7 月 1 日

偏爱有加，比如能够专门阻断某个受体的药物，不仅有很好的疗效，而且还没什么副作用。因为从理论上讲，具有多种活性的药物，会提高不良反应的发生几率。另外，传统药物令人头疼的知识产权问题也是一个原因。

一个与姜黄有关的经典案例发生在 1995 年。当时，美国密西西比大学获得了一项专利：用姜黄来促进伤口愈合。这项专利遭到一个由印度政府资助的研究团体的强烈反对，印度科学与工业研究委员会也质疑这项专利不符合创新性标准。他们从 1953 年发表于印度某期刊的一篇报道，以及古梵文中找到了有关姜黄素促进伤口愈合的早期记录。鉴于此，美国专利商标局被迫撤消了这项专利。

后来，专利商标局为姜黄作为单离香料的特殊用途授予了专利。不过，来自印度的反对意见却意味着医药公司永远不可能独占“姜黄类”产品的专利，也就无法从法律上阻止其他竞争者利用姜黄研发同类药物。一些小公司仍然希望利用姜黄素的药用价值，它们尝试改变药物的化学成分来提高姜黄素的活性，或者合成新的药物，以期获得知识产权的保护。

美国圣迭戈的雄荷公司与北卡罗来纳大学查佩尔希尔分校合作，在姜黄中提取了一些化学物质，并以这些物质为基础，开发出了治疗痤疮的新药。他们计划在今年对这种新药展开 I 期临床试验。同样，位于北卡罗来纳州三角研究园的 Curry 制药公司也在筹备资金，打算将美国埃默里大学开发的姜黄素衍生物纳入临床试验。但是，在这个以靶向药物（以某个具体蛋白或其他物质为作用目标的药物）为主流的时代，风险投资家担心新药存在副作用，对于是否投资开发作用于多个生理过程的新药顾虑重重。尽管阿加沃尔是 Curry 制药公司的创始人之一，还拥有姜黄素的专利权，他也不愿意对姜黄素的安全性问题作出承诺。他说，化学家们要改善姜黄素的天然性状，难度实在不小，就算真的做到了，也可能会引发更多的副作用。

如果可以克服药物研发中的障碍，同时又能保证用药安全的话，姜黄将成为主流药品之外又一物美价廉的选择。基于啮齿类动物试验取得的良好结果，美国加利福尼亚大学洛杉矶分校的格雷格·科尔（Greg Cole）和退伍军人管理局正在组织一次临床试验，以测试姜黄素能否防止淀粉样蛋白的聚集，从而减轻阿尔茨海默病患者的大脑负担。如果获得成功，他和合作者（他的妻子）打算设计一种配方，与烹饪油混合后食用（可以提高药效），就可以阻碍蛋白斑的积聚。在老龄化日益突出的世界，这不失为一种贫富皆宜的处方。SA

扩展阅读

Inhibition of NAD(P)H:Quinone Oxidoreductase 1 Activity and Induction of p53 Degradation by the Natural Phenolic Compound Curcumin. Peter Tsvetkov et al. in Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Vol. 102, pages 5535–5540; April 12, 2005.

Multiple Biological Activities of Curcumin: A Short Review. Radha K. Maheshwari et al. in Life Sciences, Vol. 78, pages 2081–2087; 2006.

The Molecular Targets and Therapeutic Uses of Curcumin in Health and Disease. Edited by Bharat B. Aggarwal, Young-Joon Surh and Shishir Shishodia. Springer (in press).

定做一个蛋白质

多年来，科学家一直想根据特殊功能，人工合成蛋白质，但从未成功过，因为蛋白质那复杂的结构几乎是一个无法逾越的障碍。后来，天然蛋白质的一个特殊性质激发了科学家的灵感，他们合成了一种构建单元，可以根据自己编写的计算机程序，拼装出自然界不曾有过的蛋白质，而且还能完成天然蛋白质无法胜任的工作。以后，我们可以根据工业生产的需要，直接定做一个蛋白质！

撰文 克里斯蒂安·E·沙夫迈斯特（Christian E. Schafmeister）
翻译 张睿

很多科学家都在为制造纳米装置而绞尽脑汁，在这方面，蛋白质给他们上了生动的一课。作为生物体内的“纳米机器”，蛋白质是一种包含了上万个原子的大分子，它的大小一般在几纳米到几十纳米（1 纳米等于 10^{-9} 米）。在我们的身体内，至少有两万种不同的蛋白质，它们能促进肌肉收缩、消化食物、建造骨骼、感测环境，不知疲倦地让成百上千的小分子在我们的细胞里循环。

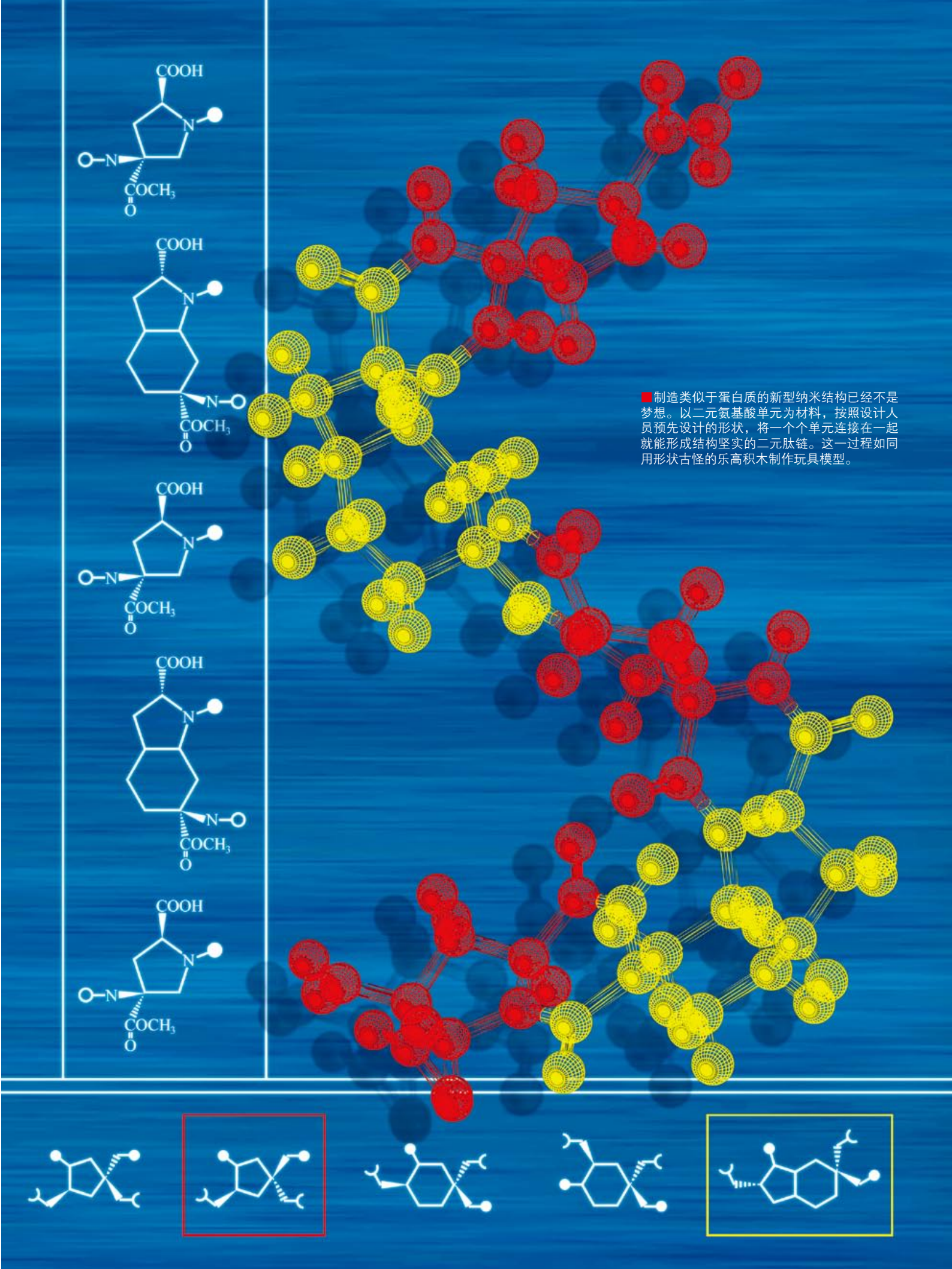
1986 年，我还是个化学专业的大学生。那时的我，就梦想着有朝一日能够亲自设计和合成具有强大功能的大分子，让它完成蛋白质无法完成的任务。但是如何才能实现这个梦想呢？我想到了计算机。自从 20 世纪 70 年代末，第一台 TRS–80s（早期的微型电脑）诞生以来，我就在编写计算机程序。如果建造复杂的分子装置能像编写软件那样简便的话，该有多么美妙。我梦想着编写一套“物质程序语言”（programming language for matter），把软件知识和化学知识结合起来，让人们用软件设计出化学工艺，化学家或机器只须按部就班地执行，就能成功制造出纳米机器。

不幸的是，通过设计新的蛋白质来创造纳米装置的构想，遇到了巨大的障碍。蛋白质由一条或数条氨基酸链组成，氨基酸链又包含了多种氨基酸（世界上共有 20 种氨基酸）。当氨基酸链在细胞中装配完毕，很快便通过一个非常复杂的过程，把自己折叠成更为高级的结构。氨基酸的序列决定了蛋白质的最终结构，从而决定了蛋白质的性质和功能，因此预测一个独特的序列会折叠成什么形状，成了工程学中具有重大意义的研究项目，但这个“蛋白质折叠问题”却让很多科学家铩羽而归。

在提出最初构想整整 20 年后，我的实验室才找到了一种方法，可以按照预先设计的形状来制造大分子，同时还开发出了用于设计分子形状的计算机软件。这种实验方法的灵感，来自天然蛋白质的模块化特性。这种模块化不依赖氨基酸链自发折叠而成的某种形状，所以这种方法避开了几乎无法逾越的蛋白质折叠问题。

我们正在逐步完善这项技术，希望用它来制造执行特殊功能的分子。最初制定的一个目标，就是制造能够充当传感器的大分子：当它与毒素之类的目标分子结合时，传感器分子的两个荧光基团就会接触在一起，传感器的颜色立即发生改变，指示在样品中存在检测目标。我们用这项技术制造出了较长的铰链分子，它能根据外部信号而开合，从而为制造分子传动器、分子阀和计算机存储器奠定了基础。

我们预计，以此技术为基础，将会诞生更多更先进的纳米装置制造方法。利用这些方法，可以制造复杂的纳米工具，例如类似于核糖体（细胞内组装蛋白质的细胞器）的装配机器，能在外部程序的控制下，组装其他纳米机器。



制造类似于蛋白质的新型纳米结构已经不是梦想。以二元氨基酸单元为材料，按照设计人员预先设计的形状，将一个个单元连接在一起就能形成结构坚实的二元肽链。这一过程如同用形状古怪的乐高积木制作玩具模型。

绕开折叠难题

天然蛋白质会自我折叠，形成高级结构。折叠过程非常复杂，难以模拟，可是人造蛋白又必须拥有高级结构才能发挥功能，怎么办呢？科学家想到了一个极端的办法：绕过折叠过程！

1990 年，我刚刚大学毕业。当时我认为，开发纳米装置的关键，应该是推导出蛋白质的折叠规则，然后在这些规则的指导下，制造出新的蛋白质。随后，我来到美国加利福尼亚大学旧金山分校，加盟了罗伯特·M·斯特劳德（Robert M.Stroud）的蛋白质结晶学研究小组。蛋白质结晶学的研究方法，主要是培育蛋白质晶体，再用 X 射线来准确测定蛋白质的三维结构。借助这项技术，我对蛋白质那美丽而复杂的结构有了更深刻的认识。在这个研究小组的 4 年时间里，我都醉心于制造一个自己设计的人造蛋白质——4HB1。我先合成了一个人造基因，把它插入到细菌中，细菌便会利用这个基因合成蛋白质。得到细菌合成的蛋白质后，让这个蛋白质结晶，并用 X 射线测定它的晶体结构。最后的发现令我激动万分：4HB1 的构造恰好与我的设计一模一样！

然而，我的兴奋并没有持续多久，4HB1 虽然是一个折叠完整的人工蛋白质，但没有任何功能。最让人沮丧的是，我在研究中没能找出蛋白质折叠的简单规则——换句话说，我想利用折叠规则，按照预先设计的形状来制造蛋白质的梦想泡汤了。相反，蛋白质折叠的复杂性却暗示，“简单”的折叠规则可能根本就不存在。1997 年，我获得博士学位，对这项研究也有了更好的想法：预先设计的蛋白质也许可以用一套模块来构建，不需要通过复杂的折叠过程来获得想要的形状。

这并非一个全新的想法。1995 年，美国得克萨斯大学奥斯汀分校的布伦特·艾弗森（Brent Iverson）开发了一些构建模块，可以连接在一起，形成短小的聚合体（寡聚体）。寡聚体中富含电子的基团会给缺乏电子的基团提供电子，并不断拉近两种基团之间的距离。在电子的作用下，寡聚体就会自我组装成褶状结构。

几乎同时，美国威斯康星大学麦迪逊分校的萨姆·吉尔曼（Sam Gellman）和瑞士苏黎世联邦理工学院的迪特尔·泽巴赫（Dieter Seebach）合作，合成了一种叫做 β－肽的短小分子。这是一种由 β－氨基酸组成的柔性链，会折叠成螺旋状结构。β－氨基酸的结构和普通氨基酸（α－氨基酸）只有细微的区别，不过自然界中几乎不存在这种分子。

虽然上述两种方法都能制造特定形状的大分子，在一定程度上绕开了蛋白质折叠问题，但另一个难题出现了：在普通氨基酸组成的天然和人造蛋白中，氨基酸之间一般通过单键连接，这就使得蛋白质的结构有很大的自由性，氨基酸链能在其长度范围内的任意位置弯曲。氨基酸链怎么弯曲、蛋白质最终会有怎样的结构，取决于氨基酸链上的氨基酸相互靠近时，产生的引力和斥力的综合作用。正是由于这些错综复杂的作用力，才很难预测蛋白质的最终结构。

于是，我想到了一个极端的方法来解决这个问题：绕过所有的蛋白质折叠过程，真正控制人工蛋白质的最终结构。为了将想法变为现实，我开始制造结构不易发生变化的构建单元，单元之间能通过一对化学键相连，这样就能“拼装”出结构稳固的梯状大分子。其实早在 1987 年，就有人尝试过这个想法。当时，英国谢菲尔德大学的弗雷泽·斯托达特（Fraser Stoddart）提出了“分子模块”的概念，利用构建单元来拼装“分子带”和“分子圈”。

后来，我又进入了美国哈佛大学格里戈里·韦尔汀（Gregory Verdine）的实验室，学习合成有机化学。我在那里呆了两年，一直在合成自然界中原本不存在的氨基酸，不断寻找通往我远大理想的道路。一次偶然的机会，我看到一篇论文，描述了一种名叫二酮哌嗪的化学结构。在该结构中，6 个原子连接成含有两条酰胺键的环。氨基酸就是通过酰胺键连接成氨基酸链的，就像人们手拉手排成一行一样。当两个氨基酸结合到一起，一个二酮哌嗪就形成了，如同两个人面对面，两双手臂拉在一起，形成一个闭合的环。研究合成蛋白的化学家已经发明了很多反应方法，能在氨基酸之间形成酰胺键。但酰胺键经常在不需要的时候出现，让化学家的努力付诸东流。然而我却认为，也许二酮哌嗪能将我的构建单元连接起来。

概述 / 纳米积木

◆蛋白质是天然纳米装置，不知疲倦地执行形形色色的生物功能。蛋白质由柔性的氨基酸链组成，并以复杂的方式折叠成三维结构，所以科学家们很难准确地预测一个新蛋白质的形状，也就无法预测它的功能。

◆现在，科学家们已经开发出二元氨基酸单元。这些单元连接在一起就能形成类似于蛋白质的结构，并且形状固定，易于预测及设计。

◆这些“二元肽”有很多潜在应用，比如药物、催化生化反应的酶、化学感应器、纳米阀以及计算机存储器等。

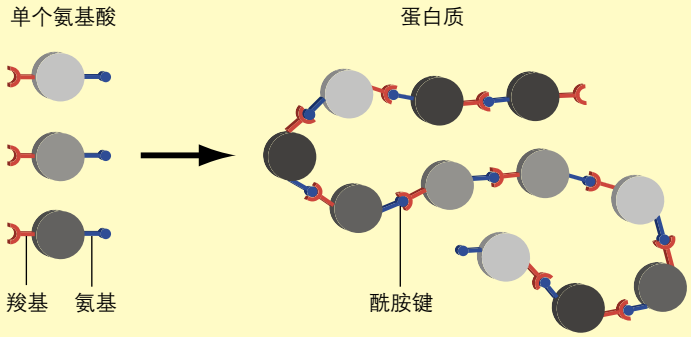
▶环球科学小词典

在氨基酸的结构中，含有氨基和羧基，根据氨基在氨基酸结构中位置的不同，可分为 α、β、γ、δ 等氨基酸。其中，α－氨基酸是最常见的氨基酸，也是天然蛋白质的组成单元。至于 β、γ、δ 等氨基酸，都很罕见，大都用于有机合成、石油化工、医疗等方面。

二元肽与蛋白质有何区别

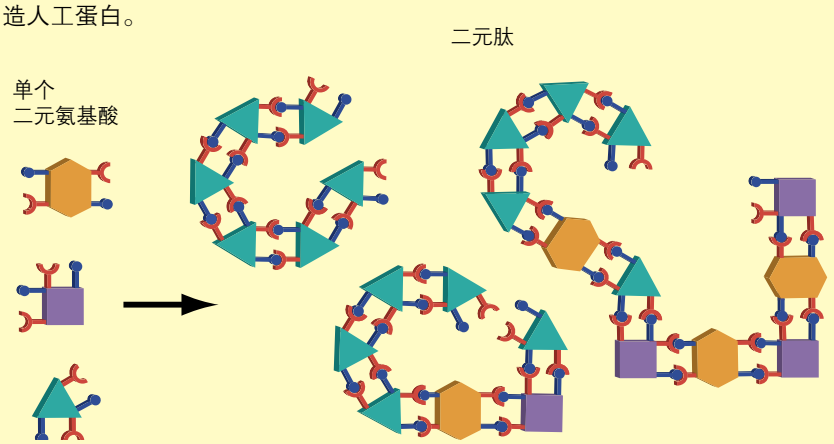
天然蛋白质

生物体会将 20 种不同的氨基酸连接在一起，形成柔性链，通常我们把这些链称作肽。肽经过一系列复杂的折叠过程形成蛋白质。蛋白质的最终形状取决于肽链上各种氨基酸之间的综合作用。正是由于这种复杂性，预测一条新氨基酸序列的最终形状变得非常困难。（为了清楚明白，图中所示均为示意性形状。）



可预测的二元肽

化学家们已经制备了一个构建单元库，这些单元就是二元氨基酸。它们均有两对羧基和氨基，相互连接起来的时候，就会形成一条形状固定的链，也就是二元肽。它的形状直接由二元氨基酸的排列次序所决定，是可以预测的。因此按照特别的次序，将这些二元氨基酸连接起来，科学家就可以设计和准确制造人工蛋白。



很快，我的整个思路便成形了。如果把氨基酸比作“人”，氨基酸的两个基团（氨基和羧基）就像是人的两条“手臂”。设想一下，其中一个是左臂，另一个是右臂，酰胺键就是握在一起的左手和右手。而我制造的每一个构建单元，都像两个手臂前伸、背靠背紧紧站在一起的人。一个单元中的“人”与另一个单元中的“人”双手相连，就能形成一个二酮哌嗪环，从而将两个构建单元稳固地连接起来。

用化学术语来说，每个单元都是一个结构坚固的分子（主要成分是碳原子），由两个氨基酸组成，每个氨基酸上的氨基和羧基都能结合其他单元。两个单元相遇时，面对面的两个氨基酸上的氨基和羧基就会发生反应，形成一个二酮哌嗪环，将两个单元连接在一起。因为每个单元都含有两个氨基酸，我把这种构建单元叫做二元氨基酸（bis-amino acid，“bis”表示二）。正如普通的氨基酸链被称为肽一样，我们称二元氨基酸链为“二元肽”（bis-peptides，目前尚无统一的中文译名）。

从偶然中开始

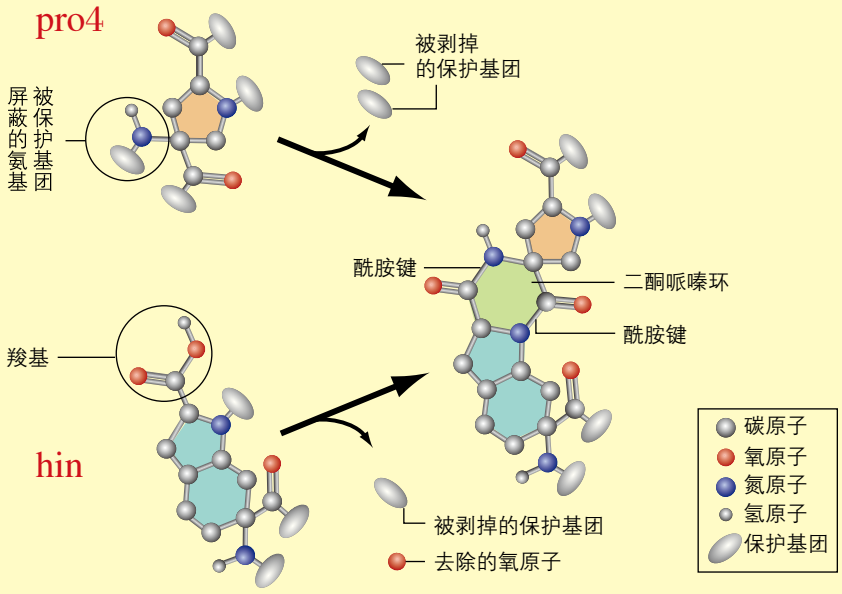
科学家利用多种方法，终于合成出了自然界中原本并不存在的二元氨基酸单元。随后，利用这些单元，又拼装出了一条类似于天然肽链的二元肽。科学家惊喜地发现，二元肽的性质很稳定，很可能是一种制造药物的备选材料。

带着制造构建单元的计划，我在美国匹兹堡大学建立了一个实验室，与我的学生一起，利用有机合成的方法，来实现我的分子拼装之梦。克里斯多弗·莱文斯（Christopher Levins）是我带的第一届研究生，他用两年的时间合成出了第一个二元氨基酸。克里斯多佛用的原材料是羟脯氨酸，这是胶原蛋白（强化软骨、韧带和肌键的蛋白质）的组成成分，在销售化学试剂的商店里很容易买到。其他研究小组也曾用羟脯氨酸来制造与我们设计的单元非常相似的分子。莱文斯利用“9 步合成法”，将羟脯氨酸转换成了 4 种构建单元，我们将这些单元分别称作 pro4(2S4S)、pro4(2S4R)、pro4(2R4S) 和 pro4(2R4R)。“pro4”的含义是，我们在脯氨酸的第 4 号碳原子上，又“装”上了一个额外的氨基酸（化学家将有机分子中的碳原子系统地标上序号，以便于识别这些碳原子）。“S”和“R”则表示“连接”在 2 号和 4 号碳原子上的基团所指的方向。合成好的单元均为干粉状，能在室温下稳定地储存数月之久。

在合成二元肽时，我们采用了两步合成法：根据预先设计的顺序，用单键将构建单元串联起来后，再将所

化学本质

实际上，化学家们在合成二元氨基酸时用了保护基团，防止二元氨基酸之间不加选择地发生反应，形成错误的化学键。通过一系列步骤，化学家们诱导两个单体（比如pro4和hin，它们的结构如图左边所示）形成二酮哌嗪环（绿色），从而将它们连接起来。二酮哌嗪环以及二元氨基酸结构内的其他碳环都很坚固，这既保证了最终形成的二元肽链的硬度，也确保了形状的可预测性。（为了清楚明白，图中省略了一些氢原子和保护基团的细微结构。）



有第二条酰胺键连接起来，使分子的结构固定下来，形成最终结构。在开始制造构建单元之前，我们就在氨基酸的氨基上特意加上了保护基团，还对一个羧基进行了修饰，形成了一个酯，以降低它的反应性，防止酰胺键在不需要的时候出现。莱文斯利用上面的方法，成功地用 pro4 单元“拼装”出了第一条二元肽。

在两步法的第一个步骤中，我们利用了固相载体合成技术来连接构建单元。在微小的塑料珠子（固相载体）上，我们嵌合了许多氨基，当第一个单元的羧基与珠子上的氨基形成酰胺键时，这个单元就被固定在了塑料珠子上。我们会让大量的构建单元靠近塑料珠，确保珠子上的每一个氨基都会结合一个单元。接下来则是一个快速的洗涤过程，溶剂会将副产物和剩余单元统统带走。我们又用碱溶液将构建单元上两个氨基保护基团中的一个除去（每个单元含有两个氨基酸，因而就有两个氨基，我们给这两个氨基加上了不同的保护基团，所以一种碱溶液只能剥离一个保护基团）。第二个单元的羧基则和第一个单元上裸露的氨基相连。然后再将第二个单元中的氨基保护基团剥离一个。以此类推，再加上第三个单元……

这种拼装过程十分缓慢，每连接一个单元要花费大约一个小时，因为我们必须等待足够长的时间，让所有裸露的氨基都连上了下一个构建单元。值得庆幸的是，常用于合成普通肽链的自动合成仪可以自动地完成这些工作，而且一次就能同时制造许多序列。

当一条二元肽链初步连接起来后，我们就“剥离”塑料珠子、去除链上每个单元的第二个氨基保护基团。最后加入碱溶液，让每个单元上新暴露出来的氨基与它前面的酯发生反应，形成第二条酰胺键。这样一来，相邻单元都由两条酰胺键相连接，整个分子的结构就被固定下来。

我们很快发现二元肽可溶于水和其他的极性有机溶剂（易溶于水的有机溶剂）。水溶性使得科学家对二元肽的研究变得更加容易，这也意味着，如果要开发一种必须在血液中迅速溶解和扩散的新药物，二元肽绝对是一种很好的备选材料。

设计形状

科学家编写了一套计算机软件，用于设计人造蛋白质的形状。但在制备过程中，他们又遇到了新难题：在不同单元之间，酰胺键形成的速度不一，如果单纯提高反应温度，人造蛋白的结构就会混乱不堪。如何才能解决这一难题呢？

二元氨基酸就像造型奇异的积木：顶部倾斜，整体构型扭曲。如果将多个同一类型的二元氨基酸连接在一起，就能得到一条弯曲的二元肽。至于弯曲成什么形状，取决于选择的二元氨基酸的种类。将两种不同的二

本文作者

克里斯蒂安·E·沙夫迈斯特是美国匹兹堡大学的助理教授，他正在开发形状可以预先设计的分子。1997年，他在美国加利福尼亚大学旧金山分校获得了生物物理学博士学位。在哈佛大学做博士后研究期间，他开发出一种方法，让蛋白质对蛋白酶具有极强的耐受能力，使它们更加适合用作药物原料。他也是加利福尼亚州帕洛阿图市前瞻纳米中心准备纳米系统技术路线图的工作小组成员之一。

本文译者

张睿，毕业于中国科学院研究生院，生物化学硕士。

元氨基酸连接起来，就能得到 2^N 种不同形状的二元肽（N 是链上的单元数）。假如以我们制造的那 4 种 pro4 二元氨基酸为材料，来构建长为 10 个单元的二元肽，就能得到上百万（4^{10}）种形状不一的二元肽。我们拥有的单元的形状越多，就越容易控制大分子最终的结构。接下来的挑战便是，设计和合成具备某些功能的序列。

设计具有特殊形状的二元肽的关键在于，我们需要清楚地知道，当一个二元氨基酸与另一个相连接时，它所呈现出的精确形状，比如它的尺寸、顶部的倾斜度以及整个单元的扭曲度，这些信息就是“物质程序语言”的基础。因此，当第一条二元肽合成完毕之后，我们就立即展开了检测工作，确定链上各个单元之间的具体连接方式。

我们运用核磁共振技术，找出二元肽上相邻的氢原子；使用其他技术，测定碳氢键的取向。根据测定的结果，我们推断出构造信息，再利用这些信息，开发出了计算机辅助设计程序 CANDO（纳米结构的计算机辅助设计和优化），用于设计和制造二元肽。

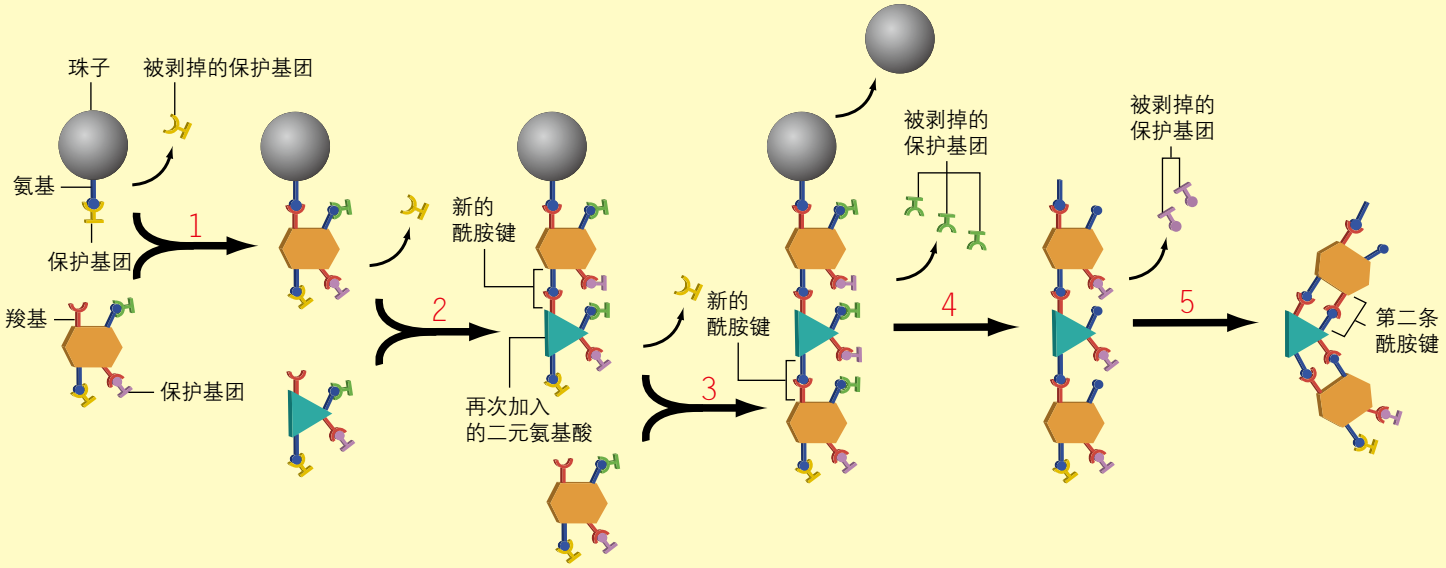
格里戈里·伯德（Gregory Bird）也是我们实验室的研究生，他用 CANDO 设计了一些杆状分子和弯曲的结构。最近，他组装了这些结构，把一种名叫“自旋探针”的化学基团连接到每条二元肽的末端，以便观察合成结果是否与计算机设计的形状一致。观察结果正如 CANDO 所预测的一样，利用 pro4(2S4S) 和 pro4(2R4R) 两种单元连接而成的序列，确实拥有相应的 C 形和 S 形。

在二元氨基酸中，pro4 基团的倾斜度相对较小，所以我们能用它们来制造类似于杆状而又轻微弯曲的形状。这种形状能起支柱的作用，让化学基团之间保持一定的距离。然而，蛋白质之所以具有很多有用的功能，却是因为分子内部拥有一些空腔，能将蛋白质结合到目的分子上，或者容纳一些分子，催化生物化学反应。要制造结构紧凑、带有适当空腔的二元肽，我们还需要对“材料库”进行扩容。我的学生斯蒂芬·哈贝（Stephen Habay）向这个目标迈出了第一步——他开发了一个名为“hin”的二元氨基酸，这成了二元肽制造史上的一个巨大转折点。

几年过去了，我们收集的构建单元越来越多。CANDO 分析显示，利用我们现有的 14 个单元，就足以制造结构紧凑、拥有空腔的二元肽。不过在开发新的构建单元，并将它们拼装成二元肽的过程中，我们又遇到了新的麻烦。前面提到过，为了把分子结构固定下来，需要在每个单元之间形成第二条酰胺键。在 pro4 单体之间，这个反应非常迅速，而在我们新开发出来的构建单元之间，这一反应过程却进行得相当缓慢。提高反应温度虽能加快反应速度，但这样只能得到构

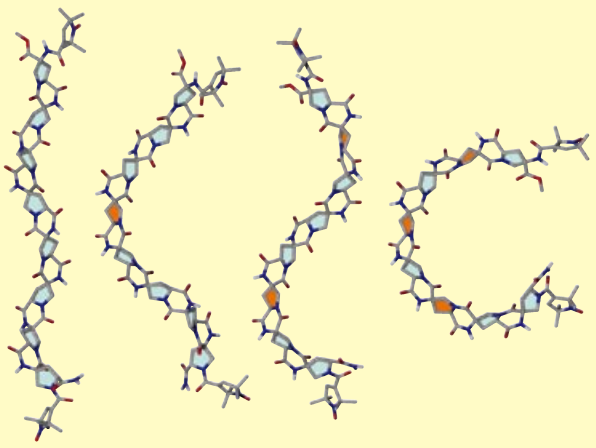
二元肽是如何诞生的

合成二元肽时，首先是选择需要的二元氨基酸，再以正确的序列加以组装，然后将结构形状固定下来。整个组装过程从一颗微小的珠子开始。珠子上带有许多氨基，氨基则被保护基团（黄色）遮掩着。第一步是将珠子上的氨基的保护基团剥离开，这样一来，氨基就会与第一个带有自由羧基的二元氨基酸发生反应，将二元氨基酸连接到珠子上（1）。接下来则重复第一步的过程，以此类推下去（2 和 3），就会得到以单键相连的二元肽链。然后将珠子以及剩下的氨基酸上的保护基团（绿色）剥离（4）。当羧基上的保护基团也被除去之后，氨基就与相邻的羧基发生反应，在各单体间形成第二条键（5）。



设计形状

右图是美国匹兹堡大学的研究小组合成的二元肽，它的形状变化多端，可以是直杆状的，也可以是月牙状的，只要在二元肽链中插入合适的二元氨基酸即可。



型混乱的二元肽。这个问题成了一个巨大的障碍，若不跨过这个障碍，就很难制造出大而复杂的二元肽。

我的学生沙拉德·古普塔（Sharad Gupta）在一定程度上解决了这个难题。他发明了一个新的方法来促使第二条酰胺键的形成：改变每个单体上的酯的状态，让它易于与氨基反应。古普塔还从一篇于 20 世纪 70 年代发表的论文上得到了灵感，用乙酸代替碱作为催化剂。用乙酸作为催化剂，在加热提高反应速度时，就不会再像用碱那样，使二元肽的形状出现混乱。

我们用了 6 个月时间来寻找最佳反应条件，包括要使用的酯、保护基团、溶剂和温度，但仍未彻底解决这个问题，一旦二元肽序列的长度超过 5 个单元，这个方案就会失效。因此，我们目前能够高效制造的二元肽，仅限于 pro4 单元构成的分子，或其他单元构成的长度不足 5 个单元的分子。尽管如此，我们仍在集中精力，利用这些二元肽开发一些应用项目。

开发应用项目

现在，科学家们已经开始利用二元肽制造一些有用的纳米装置，比如可以自动释放药物为病人治病的分子传动器、能够合成“天价”药物的人工酶等，他们甚至还想制造能够自动合成人造蛋白的人造蛋白！

能够紧密结合霍乱毒素蛋白（Ctx）的二元肽大分子，是我们最想实现的应用项目。毒素蛋白呈五角形，每个角上都有一个相同的“口袋”。GM1 糖分子刚好可以装进口袋中，这样霍乱毒素蛋白就能与 GM1 糖分子结合。在小肠上皮细胞表面，有许多 GM1 分子。当霍乱毒素蛋白与 5 个 GM1 分子结合时，就会启动毒素反应，导致致命的剧烈腹泻。如果能找到一种大分子，让它与霍乱毒素蛋白的口袋紧密结合，就能阻止毒素结合在人体细胞上，从而预防疾病。

一些研究人员已开发出一些较小的糖分子，能与毒素蛋白上的口袋结合。但是糖分子的药效不佳，因为它与霍乱毒素蛋白的结合不够牢靠，而且一次只能与一个口袋结合。相比之下，人体细胞上的 GM1 能够与霍乱毒素蛋白的 5 个口袋同时发生作用，力量显然强大得多。如果能够合成一种二元肽，在它的两个末端都配上糖分子，而且二元肽的长度刚好等于霍乱毒素蛋白上相邻两个口袋的间距，这样也许能阻止毒素与细胞结合。结果实验奏效了，附着了两个糖分子的二元肽与霍乱毒素蛋白结合得更紧密，结合效果几乎可以和天然 GM1 分子相媲美。

不过，我们还不能肯定，这些二元肽是结合在一个霍乱毒素蛋白的两个口袋上，还是恰好结合在两个不同毒素蛋白的口袋上，把毒素蛋白交织成一个网络。如果是后面一种情况，那么这种二元肽就无法有效治疗霍乱，因为只有当人体内已经积累了大量霍乱毒素蛋白（有可能是致命剂量）时，这种结合方式才会发挥作用（如果霍乱毒素蛋白的浓度很低，那么一条二元肽同时与两个霍乱毒素蛋白的口袋结合的几率就非常小）。不过，在病毒的表面形成交联蛋白，就能有效抑制病毒活性，我们正在使用这种方法来抑制艾滋病病毒、埃博拉病毒等各种病毒。

我们还在坚固的杆状分子两端添加了化学基团，再把两个分子连接起来，做成了一个分子传动器，它会根据外部信号作出反应。我们设计的分子传动器通常处于打开状态，当分子末端与金属离子或小分子结合时，传动器就会折叠或闭合。我的学生劳拉·贝拉斯科（Laura Velasco）制作出了第一个分子传动器。在他的传动器中，杆状分子由 4 个二元氨基酸组成，充当铰链的是一个普通氨基酸，传动器的开或关则由金属离子触发。我们利用贝拉斯科的传动器，制造了一个分子阀。这个分子阀有一个纳米级的孔，在纳米孔的周围，连接有杆状二元肽链。当传动器伸展时，就会把孔堵住；折叠时，纳米孔则处于开放状态。这些分子阀可用于感应病人的病情，在恰当的时候释放药物为病

人治病。

如果在杆的末端连上某些化学基团，当某种电荷出现时，化学基团能正确识别并与之结合，那么我们就能电动控制传动器的开启和关闭。如果通过这种方式能单独控制这些传动器，就能用大量的传动器来制造计算机存储装置。传动器的开和关可以代表 0 或 1，这些数据可以通过原子力显微镜探针的逐排扫描而读取出来。

生物体内的蛋白质由 20 种氨基酸构成，这些氨基酸的侧链上点缀着各种各样的化学基团。与此类似，我的实验室也在开发带有额外化学基团的二元氨基酸单元，用这些单元制造二元肽，化学基团便会沿着二元肽的梯形骨架排列。如果能仿造天然酶“功能中心”（即发挥催化作用的部位）上的化学基团排列顺序，制造出身上“挂着”类似化学基团的大分子，我们也许就能制造出与天然酶一模一样的人工酶。

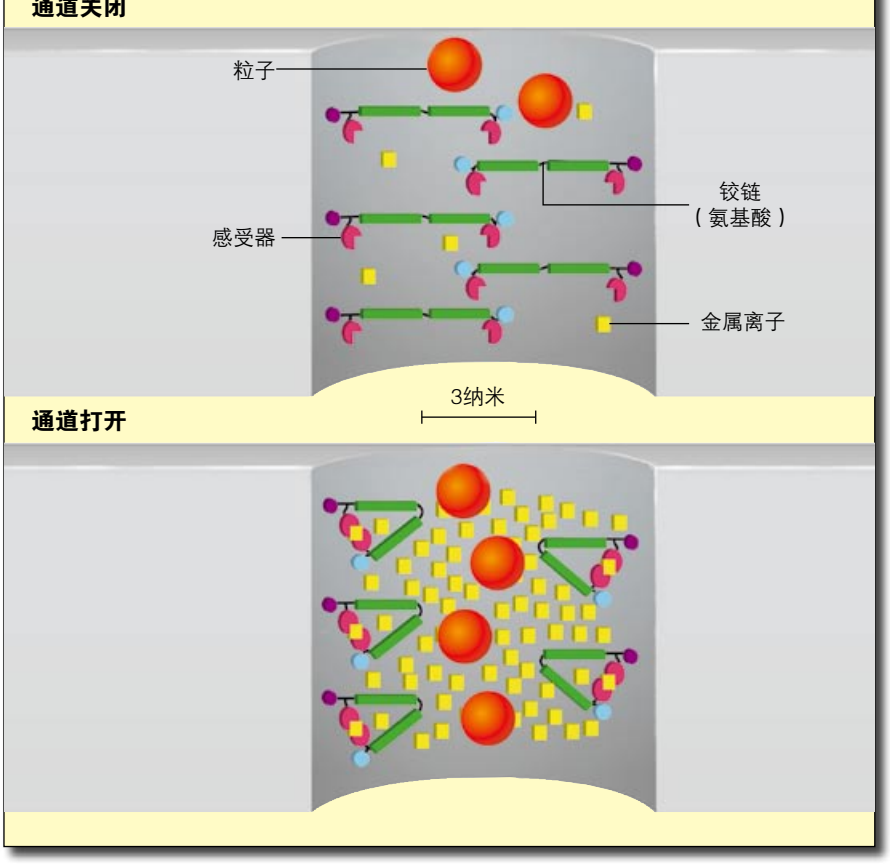
我可以预言，在今后 20 年内，分子拼装开发领域将异常活跃：数十个研究小组都会用二元肽制造大分子，不断探索如何生产人工酶和其他价值非凡的“分子机器”。一些抗癌药物，比如大田软海绵素（halichondrin B）和苔藓虫素（bryostatin），现在看来疗效虽然不错，但合成起来却需要极高的成本。生产原材料都是珍稀的海洋生物，根本满足不了药物的生产需求。在 20 年内，我们也许能制造出人工酶，高效合成目前的“天价药物”，并且不会造成环境危害。想象一下，只要将一滴含有人工酶的溶液加入一大桶玉米糖浆中，几天后就能收获数量惊人的苔藓虫素，那该多么令人兴奋！

如果开发出的人工酶能降解植物纤维素，将它变成乙醇，或者能利用的光能量将水和二氧化碳结合起来，转化为乙醇，整个人类社会都将受益匪浅。我们甚至能设计人工酶来合成二元氨基酸单元，将它们连接起来，这样就能轻松制造二元肽链。

我们已经将化学和软件知识融为一体，可以按照预先设计的形状来生产大分子。我们能在几周的时间内，设计、组装、检测二元肽，迅速开发出新一代产品。在未来的几年，我们面临的挑战是，如何从人工蛋白的功能着手，设计出最佳二元肽序列来执行这些功能。SA

纳米阀

现在，科学家已经制造出一种纳米阀，这种阀能用二元肽传动器来打开直径仅为 3 纳米的孔隙。它由两根短的杆状二元肽链（绿色）组成，一个普通氨基酸将两条链绞合在一起。在金属离子（黄色，作用时触发传动器）浓度较低时，传动器会沿着铝膜上的小孔的边缘延展开，阻止大粒子或者分子（橙色）通过（上）。在金属离子浓度高时，传动器就会折叠，从而打开通道（下）。



扩展阅读

Constructing a Molecular LEGO Set. John P. Mathias and J. Fraser Stoddart in Chemical Society Reviews, Vol. 21, No. 4, pages 215–225; 1992.

Foldamers: A Manifesto. S. H. Gellman in Accounts of Chemical Research, Vol. 31, No. 4,pages 173–180; April 1998.

A Field Guide to Foldamers. D. J. Hill, M. J. Mio, R. B. Prince, T. Hughes and J. S. Moore in Chemical Reviews, Vol. 101, No. 12, pages 3893–4011; December 2001.

Flexibility and Lengths of Bis-Peptide Nanostructures by Electron Spin Resonance. S.Pornsuwan, G. Bird and C. E. Schafmeister in Journal of the American Chemical Society, Vol. 128, No. 12, pages 3876–3877; March 29, 2006.

Christian E. Schafmeister's laboratory site: **www.candolab.org**

谁屠杀了马达

撰文 雷蒙德·R·罗杰斯
（Raymond R. Rogers）
戴维·W·克劳斯
（David W. Krause）
翻译 曹长群

7,000 万年前，一场灾难降临到马达加斯加岛上，大批恐龙和其他动物神秘地死去。2005 年，当年的死亡现场重见天日，累累尸骨令人惊怵，惨不忍睹——这些受害者不分种类、大小、老幼，均未逃脱死神的魔爪。这个冷血杀手究竟是谁？调查人员依靠严谨的科学证据，排除了 6,500 万年前发生的那场生物大灭绝事件之后，终于拨开重重迷雾，直指真凶——

大约 7,000 万年前，在马达加斯加西北部（见下页上图），大型食肉恐龙犸君颅龙（*Majungatholus atopus*，见上图）意外死亡。本文作者率领的考察队成员细心地挖掘骸骨，其中一块下颚骨依然附着用于撕裂肉体的利齿（见右图）。随后，研究人员用石膏将这些骨骼固定起来，运往美国（见下页下图），再详细探究恐龙的死亡线索。

加斯加的恐龙

具恐龙尸体朝左侧静卧，头颈伸向骨盆——这是典型的死亡姿势。它的前后肢骨依然保留在正常的生理部位。尽管前后趾骨零乱散落，但多数骨骼仍保存完好，并可相互拼接。头骨骨片稍稍脱节，但依旧保留在原来的位置上。奇怪的是，它的尾椎尖端骨节却整体失落，不见踪影。更多的动物尸骸横七竖八地躺在附近，姿势各异：一些相当完整；另一些则仅存一块头骨、肩胛骨或者单侧肋骨。这些不幸的动物究竟是就地死亡，还是死后被集中到这里？是同时死亡，还是陆续走上不归路？凶手究竟是谁？

2005 年夏天，马达加斯加西北部，因遍布“威尼斯”红土壤而得名的大红岛（Great Red Island）上，这个巨型坟场从远古地层中逐渐显露出来。上述问题一直萦绕在参与发掘的考察队员脑中，这支考察队由马达加斯加和美国的古生物学家及地质学家组成，我们也有幸参与其中。随着发掘工作的深入，一些信息初现端倪，激发了我们的兴趣：这可能是一个振奋人心的发现！那么，我们是如何开始着手调查的呢？

根据发掘的年份和该地区化石产地的发现顺序，我们把这一地点命名为 MAD05–42。随后，我们开始鉴定这些死亡动物的物种。根据我们在该地区其他地点的挖掘发现，我们很快就辨识出，这里的大多数遗骸分属于不同种类的恐龙。

在马达加斯加西北部，MAD05–42 并不是唯一的恐龙坟场。过去 10 多年来，我们在偏远的贝里沃特拉村附近的半干旱草原上进行地质调查，多次发现过这样的场景：动物遗骸层层叠叠地埋藏在一起，不论大小老幼，构成壮观的尸骨层（bonebed，即含有动物骨骼化石的地层）。现在，当我们着手在 MAD05–42 坟场搜寻真凶之际，

难以抑制内心的好奇：为什么这里会有如此多的尸骨层，为什么它们会保存得如此完好？

坟场发掘

马达加斯加 MAD05–42 恐龙坟场中的恐龙和其他动物，都死于 7,000 万年前，比 6,500 万年前发生的那场全球性生物大灭绝事件还早了几百万年。这些动物并非死于同时，而是在一段时间内陆续死亡的。

这些骨骼化石早已失去肉身，仅余枯骨，因此现代验尸技术在这里毫无用武之地。我们不得不求助于地质定年技术和现场的埋藏学（taphonomy）调查，梳理蕴藏在这些骨骼和岩石背后的线索。特别是现场的埋藏学勘察，可以充分探究生物机体由生到死的历程。

把这里命名为 MAD05–42 之后，我们开始着手从岩石中发掘这些骨骼，用小铲和锤子去除表面的沉积物，再用牙钩和纤细的小刷剥露出化石骨骼。做这一切的时候必须小心翼翼，尽量避免损坏这些松脆的骨骼表面。等骨架完全显露以后，再对它们的准确位置进行描绘和拍摄，将有价值的空间位置关系全都记录下来。随后，我们用固化胶浸透这些松脆的骨骼，外面罩以麻布和石膏外层加以保护。等石膏固化成型后，再将骨骼编号登册，打包运送到美国的实验室，在那里精心清理骨骼上的残余沉积物，搜寻留在骨骼表面的蛛丝马迹，找出凶手。

地质学证据

马达加斯加地理位置的变迁，为追踪 7,000 万年前多种动物的集群死亡事件提供了线索。中生代（2.5 亿年前）伊始，马达加斯加位于冈瓦纳大陆中心。在早白垩世（1.3 亿年前），板块运动引起地球岩石板块重新分布，马达加斯加一度漂离非洲大陆达 400 公里之遥，然后又重新拼入非洲板块，并开始向北移动。我们考察的恐龙死亡事件发生时（见下图），马达加斯加北部位于南纬 30 度附近，那里的气候条件使得长期干旱和暴雨季节交替出现。

在化石发掘现场，我们确定这些尸骸被保存在一层独特的沉积岩（sedimentary rock）中，该岩层被称为 Maevarano 组（Maevarano Formation，这里的“组”即指岩组，岩石地层的基本单位）。众所周知，在距今 6,500 万年前的 K/T 界线（也就是白垩纪／第三纪界线），除鸟类以外，恐龙和多数其他动物经历了一场全球性生物大灭绝事件。Maevarano 组的层位比 K/T 界线还低了几十米，意味着它的年代更为古老。具体来说，我们发现恐龙尸骸的地层比大灭绝所在的地层低了 44.5 米，比 Maevarano 组的顶部界线则低了 14.5 米。Maevarano 组下方的地层中存在着火山矿物，对它们的放射性衰变年龄所作的测定表明，这些地层的年龄大约为 8,800 万年。Maevarano 组的上方和内部岩层之间出现的海相沉积岩（marine sediment），是在该岛西海岸海水不断升降的条件下沉积而成的。这些沉积岩中包含了介壳类生物和单细胞微生物的化石。根据其他地区对这些生物化石所作的年代测定，它们出现的时间接近白垩纪末期，但并未完全达到白垩纪末期。所有关于时间的证据都表明，MAD05–42 出土的恐龙大约死于 7,000 万年前。这些恐龙的死因与白垩纪／第三纪全球性生物大灭绝无关，因为那场灭绝事件是在几百万年后才发生的。

埋藏学分析也有助于我们的调查研究。埋藏学勘察可以检查骨骼的形变（确定骨骼是否经受过燃烧、折断或啃咬）、尸体遭受的破坏（被食腐动物或食肉动物肢解，或有选择性地掠走某些部位）、埋藏史（尸体埋藏方式和后期埋藏变化过程）。从本质上讲，骨骼变成化石的过程，也属于埋藏学的研究范畴。

这里的埋藏学证据显示，埋藏在

更大规模的集群死亡事件

马达加斯加的 MAD93–18 挖掘坑，是最早发现的恐龙坟场之一。与其他挖掘坑相比，这里展现的远古时期频发的集群死亡事件更为引人注目。MAD93–18 由 3 层分离的死亡层叠合而成。挖掘现场发现了近乎完整的大型蜥脚类恐龙——掠食龙（*Rapetosaurus*）的骨骼（见左下图和右下图），以及许多在科学上尚属新物种的动物残骸，包括具有小型脆性骨骼的原始鸟类胁空鸟龙（*Rahonavis ostromi*，见右图）。

MAD05–42 坟场的动物是在一段时间内陆续死亡的，这个过程可能长达几周到几个月。这里的尸骸呈现出不同的死亡形态：一部分尸骸基本完整，保持着原始的死亡姿势；一部分尸骸则遭到肢解，骨骼四处散落——这种肢解过程绝不可能是在瞬间发生的；一些骨骼保存完好，另外一些则经历过深度风化和表面降解过程。如果同一尸骨层的动物死于不同时间，我们通常就会用“平均时间”来描述死亡时间，并采用埋藏学证据来评估首次死亡和末次死亡的时间跨度。虽然我们尚不能确定 MAD05–42 坟场的死亡事件究竟持续了多久，但毫无疑问，这些死亡事件并非同时发生。

犯罪现场

远古时期，马达加斯加曾经漂离非洲大陆，后来又重返非洲。这一 7,000 万年前的死亡事件发生时，那里很可能深受亚热带气候影响，旱季和雨季交替出现：要么赤日炎炎、干旱持续不去，要么暴雨横行、河流泛滥、泥沙俱下……

马达加斯加大陆的地质历史，为我们求证这些恐龙的死因提供了重要线索。2.5 亿年前的中生代伊始，马达加斯加位于泛大陆（Pangaea 超级大陆）的南半部，冈瓦纳大陆（Gondwana）的中心，夹在非洲和印度之间，南端毗邻南极洲。不久后，地质构造活动引起岩石板块大规模重组，到了侏罗纪晚期（1.6 亿年前），马达加斯加从非洲大陆分裂出来，由印度板块拖曳着向南漂移。到了白垩纪晚期（8,800 万年前），远离非洲大陆 400 公里的马达加斯加，又渐渐漂离了印度次大陆和南极洲板块，与非洲板块重新拼接起来，最终形成了现在这个位于印度洋上的世界第四大岛屿。

与非洲板块重新拼接后，马达加斯加向北漂移。大约在 7,000 万年前，

晚白垩世的古土壤和岩石，令人信服地揭示了晚白垩世的半干旱气候特征。垂向生长的根系壳模（见右下图）表明，这些植物已经适应了干旱条件，能够获取深层湿气。根系遗迹周围有大量的碳酸钙团块，也是这种干旱环境的特征之一。其余沉积物形成于富含沙子的河流中（见上图），反映了水流的急剧变化。当河流流动，水流把沙子冲到下游，形成丘状沉积，产生单斜交错层理（见右上图）。恐龙和许多其他动物在河流浅水区觅食——实际上，MAD05-42 挖掘坑的动物骨骼就埋藏在这样一条古河道中。

当那些恐龙纷纷死亡时，马达加斯加北部仍在南纬 30 度线附近，距离南回归线还有很远一段距离（现在南回归线则贯穿马达加斯加南部）。当时的马达加斯加很可能受到亚热带气候模式的影响。如今全球的沙漠和半沙漠地带，大部分都位于南、北纬 15~35 度之间的狭长区域内，这一干旱区域的形成是大气环流（atmospheric circulation）模式（即哈德莱环流，Hadley cell）影响的结果。大气环流在赤道附近摆脱湿气后，驱动干燥的热气团向地面沉降，气流沉降形成的高压带常常会阻止降雨，但是，降雨不来则已，一来就异常猛烈。

晚白垩世 Maevarano 组的沉积岩特征，为这种半干旱、季节性变化的特点提供了有力证据。最明显的就是氧化的红色古土壤（paleosol），以及其中保存完好的、垂向生长的植物根系模铸构造。在现代，这种垂向生长的根系通常出现在已经适应了干旱环境的植物身上，帮助它们从地表深层吮吸湿气和营养物。此外，保存在 Maevarano 组岩层中的多数植物根系遗迹，要么表面包裹着碳酸钙（calcium carbonate）硬壳，要么点缀着不规则的碳酸盐结核（carbonate nodule）。而在现代，富含碳酸钙的氧化土壤更容易出现在半干旱及干旱地区，因为那里的水分会快速蒸发和流失，降水难以向深层沉降。

这一区域的其他沉积岩，则是在富含泥沙的浅水河流中沉积而成的，带有典型的亚热带气候特征，清晰地指明当时的水流很可能根据季节而急剧涨落。河水流动时，常常在下游形成流动波痕和丘状堆积，形成地质学家所说的单斜交错层理构造（cross-stratification）。

毫无疑问，恐龙及许多其他动物经常出没于河边，饮水、觅食或避难。MAD05-42 挖掘坑的骨骼确实散布在

本文作者

自 1996 年以来，雷蒙德 · 罗杰斯和戴维 · 克劳斯发掘和考察了马达加斯加的这些大规模尸骨层。罗杰斯于 1995 年获美国芝加哥大学地质学博士学位，现为美国马卡勒斯特学院地质系主任及副教授、芝加哥费尔德博物馆和明尼苏达州科学博物馆副研究员。克劳斯于 1982 年获美国密歇根大学安阿伯分校地质学博士学位，现为纽约州立大学石溪分校解剖学系“杰出贡献教授”、芝加哥费尔德博物馆副研究员。在马达加斯加工作期间，克劳斯建立了马达加斯加安基兹基金会（www.ankizy.org）。这一非赢利组织在这个世界上第四贫穷国家的边远地区，为孩子们建立学校，提供临时卫生诊所。

本文译者

曹长群，1999 年获中科院南京地质古生物研究所地层古生物学博士学位，现为现代古生物学与地层学国家重点实验室研究员。他长期从事二叠纪末期生物灭绝事件的研究，主要通过岩石稳定碳同位素和大分子化石（生物标记化合物）的分析，探讨二叠纪末期古环境的异常变化，及其对生物灭绝事件的诱导作用。他曾为本刊 2006 年第 11 期的《温室效应：生物大灭绝真凶》一文担任审校。

死尸盛宴

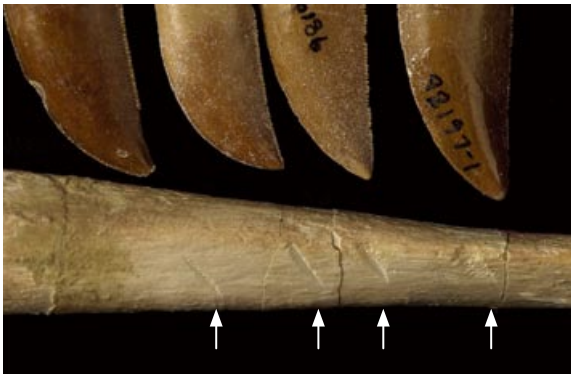
晚白垩世的马达加斯加，大规模的动物死亡事件为嗜尸动物提供了丰盛大餐。嗜尸动物以尸体和腐肉为食，成为推动生物圈能量循环有效的、必不可少的环节。现有的嗜尸动物范围很广，涵盖细菌乃至大型脊椎动物。埃里克·M·罗伯茨（Eric M. Roberts）现为南非约翰内斯堡威特沃特斯兰德大学的讲师，10 多年前他以大学生身份参与了马达加斯加恐龙化石的发掘工作。我们一起在马达加斯加的恐龙骨骼上发现了食腐尸昆虫的活动踪迹：长约 1 厘米的卵圆形凹坑，通常出现在骨骼内部的微孔构造中。这些凹坑记录了大批成年甲虫在尸体上滋生、啃噬腐肉，然后在附近产卵的过程。幼虫一孵化出来，便开始啃噬腐肉，用坚硬的下颚在恐龙骨骼上啃掘出凹坑，作为蛹化的巢室。

昆虫并非唯一的嗜尸生物。这些动物骨骼表面的咬痕无可争议地表明，恐龙也曾大快朵颐。我们与美国明尼苏达州科学博物馆的克里斯蒂娜·柯里·罗杰斯（Kristina Curry Rogers）合作，在至少 3 个不同尸骨层的某些骨骼上，找到了身长 7 米的兽脚亚目食肉恐龙——犸君颅龙留下的齿痕。我们将齿痕的形状和尺寸与各种食肉动物的下上颚和牙齿进行比较，排除了其他牙尖齿利的动物作案的嫌疑。

一些留有咬痕的骨骼样品属于一种以前未知的蜥脚类恐龙——掠食龙，柯里·罗杰斯在博士论文的部分章节中，已经对这种恐龙进行过描述。然而，一些伤痕累累的大型骨骼（多为肋骨和椎骨），却是犸君颅龙自身的骨骼。现有动物中，同类相食的现象十分罕见，恐龙之间这种现象应当也非常少有。然而，来自马达加斯加的尸骨层的证据，首次清晰地证实了恐龙间存在着同类相食的现象。遗憾的是，单凭来自咬痕的证据，还不能确证犸君颅龙啃食同类的行为究竟是自相残杀，还是纯属碰巧啃食同类的腐尸。

——雷蒙德·罗杰斯、戴维·克劳斯

■恐龙骨骼上的卵圆形凹坑，表明食尸甲虫曾在动物尸体上大批滋生，啃噬腐肉和产卵（复原图如下）。



■骨骼表面细小凹槽的大小（箭头所示）、间距、撕咬时形成的前后锯齿状边缘，与犸君颅龙的牙齿形状完全吻合。

这样一条古河道中。那时的河流时而干涸，时而汹涌不息、泥沙俱下。我们自然将注意力集中在这些泥石流沉积层中，它们很可能在我们的故事中扮演着重要角色。

鉴定真凶

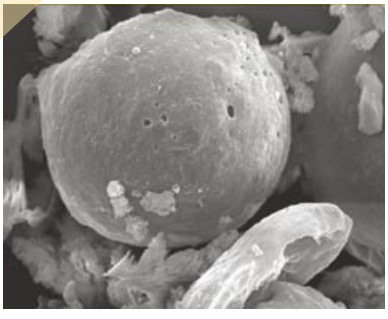
在晚白垩世的某段时间里，多种动物先后死在这里。它们并非死于某种捕食者的狩猎，也非死于疾病，更非死于地震、洪水和大火等突发性事件。经多方排查，调查人员终于锁定了一个无形的凶手：干旱。

导致单个动物死亡的因素数不胜数，想在化石记录中找到明确的一种，可能性微乎其微。但是，能够导致如 Maevarano 组中动物大规模集群死亡的因素却寥寥无几。为了进一步排除其他可能性，锁定唯一的真凶，我们重新检视了发现的埋藏学证据。马达加斯加地区的尸骨层中，通常保存着分属于不同物种的动物骨骼，如在 MAD05–42 挖掘坑里就保存有多种恐龙的化石，而在 MAD93–18 挖掘坑（见第 61 页框图），保存的动物物种就更加丰富，含有鱼、龟、蛇、鳄、鸟类和哺乳类动物，还有 3 种不同的、具有鸟类特征的恐龙。可见，凶手根本

干旱才是真凶。随着水源和食物日渐消失，动物们聚集在干涸的河床上慢慢死去。大型恐龙犸君颅龙啃食着掠食龙（见前景上的恐龙尸体），也啃食自己的同类（见远处左侧）。原始鸟类胁空鸟龙同样在打扫这堆腐肉。导致恐龙死亡的直接原因可能是脱水、酷热、营养不良，以及饮水中毒。其他食肉动物（carnivorous animal）和昆虫也分享了这场腐肉大餐，直到雨水引发汹涌的泥流，把这些赶赴盛宴的动物全都消灭，它们的尸体被包裹在泥沙之中，埋藏了 7,000 万年。

不管这些动物在大小、老幼、类群或习性方面的多种差异，统统加以杀戮。这一事实足以排除捕食者（如肉食性恐龙或鳄类）的作案嫌疑，因为现代捕食者通常都以特定的动物作为捕食对象，不会对所有物种都“一视同仁”。

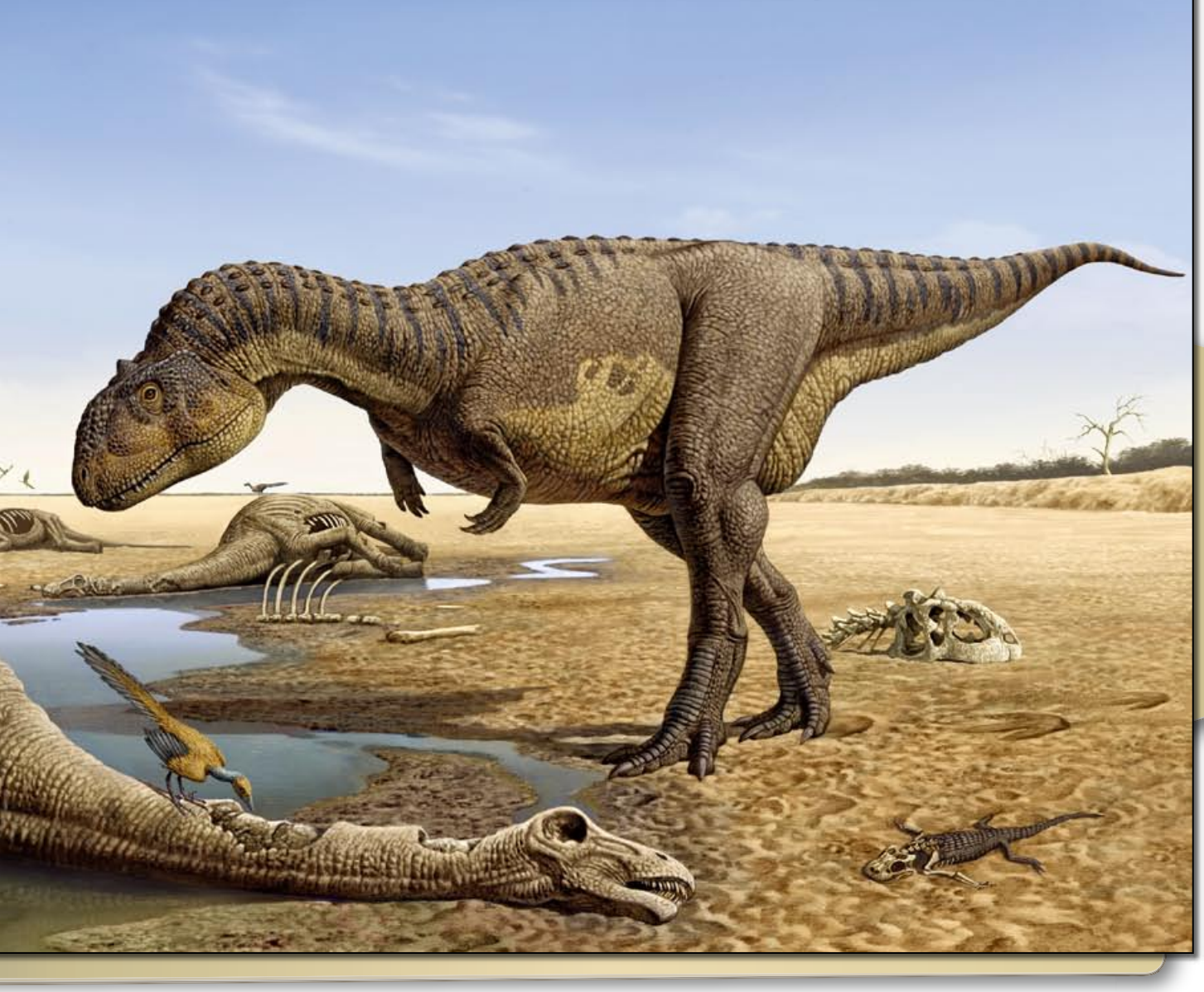
也没有任何证据显示动物群体中爆发过疾病（尽管从骨骼化石中获得疾病的证据本来就很困难）。由于这些动物的死亡时间各不相同，一些突发性灾难，如地震、洪水或大火等，也不可能成为嫌疑对象。不管这位神秘杀手是谁，它都是在这些动物自愿来到河边之后，再逐一实施袭击。我们手上的其他证据也确凿无疑地显示，杀手以同样的手段，在不同的地点，接二连三地实施攻击。



■骨骼化石周围的岩石中发现的藻类孢子，表明了日渐干涸的水洼可能已经毒化。

所有的证据都指向了唯一的疑凶——干旱。在干旱和季节变化明显的亚热带生态系统中，这种可能性的确存在。可以想象，动物聚集在逐渐干涸的河床上，也许围绕在残存的水洼周围，随着饮用水源和食物的日渐消失而一一倒毙。在今天的非洲和澳大利亚内陆部分地区，这样的情景仍随处可见，致命的干旱往往驱使动物们聚集在残存的生存资源周围。日渐缩小的水源为成千上万的动物保留着最后一线生机，然而长期的干旱，让羁绊在这里的动物最终难逃一死。尸体在这些地方日积月累，自然形成了“死亡地带”。

现代由干旱引起的动物死亡案例可以佐证，Maevarano 组骨层中动物的最终死因也是多种多样的：脱水、酷热、营养不良，甚至可能因为水源遭到污染而中毒身亡。实际上，我们还找到了有力的证据，说明这些吸引动物聚集的死水环境曾经导致过藻类爆发。在保存骨骼的岩石中，美国东田纳西州立大学的白垩纪孢粉专家迈



克尔·扎瓦达（Michael Zavada）分离出了藻类孢子（见第 64 页下图）。但是，这些孢子能否作为有毒藻类爆发的证据，尚有待进一步确证。

然而，这些动物躯体究竟是如何保存下来的？为什么多数骨骼又保存得如此完好呢？生物残骸暴露于地表，往往保存状况极差。食腐动物的撕咬，烈日的无情暴晒，即使最大的骨骼也会缓慢变白、龟裂，最终化为尘土。动物死亡后被快速埋藏，尸骸才能以化石形式长期保存，这样的情况罕如凤毛麟角。事实上，对化石形成过程的争议一直存在，快速埋藏只是防腐的关键条件之一。

我们这些研究化石的人是幸运的，因为一种非常有效的埋藏过程与这些致命气候如影随形。干旱气候周而复始地在干涸的河床上留下累累尸骸，当雨季卷土重来，河水带着泥沙奔涌而下的时侯，因大雨侵蚀而引发的黏稠泥浆汹涌倾泻而下，把动物尸骸包裹起来。马达加斯加恐龙骨骼埋藏处的沉积物特征，恰好反映出这种特殊泥浆流的特征：水和沉积物相互裹挟，如同融化的塑胶一样，稳步向前流动。即使在今天，这种大规模的泥石流现象也时有发生。2005 年，在危地马拉，由斯坦飓风形成的暴雨所引发的致命泥石流，就是例证。

一次次的致命干旱为这些动物敲响了丧钟，厚重的泥沙奔涌而下，覆盖了这些尸体和散落的骨骼。无论是几分钟前刚刚断气，还是已经死了几个月的动物，统统被严密地包裹和保护起来，永久埋葬在沉积岩构成的坟墓中。7,000 万年以后的今天，这片墓地才被掘开，为我们讲述了这段惊人的故事。SA

扩展阅读

Monsters of Madagascar. John Flynn and David Krause in *National Geographic*, Vol. 198, No. 2, pages 44–57; August 2000.

Cannibalism in the Madagascan Dinosaur Majungatholus atopus. Raymond R. Rogers, David W. Krause and Kristina Curry Rogers in *Nature*, Vol. 422, pages 515–518; April 3, 2003.

The Natural History of Madagascar. Edited and translated by Steven M. Goodman and Jonathan P. Benstead. University of Chicago Press, 2004.

关闭模拟信号以后，普通电视机再也收不到节目。是应该一步到位，购买全新的数字设备，还是先买几个机顶盒多撑几年？消费者终于意识到数字电视带来的经济问题，而运营商还在为传输技术而努力奋斗。美国为何急着走进数字电视时代？ 2009 年，他们能否如愿以偿？

数字电视转换难题

撰文 迈克尔·安东诺夫（Michael Antonoff）
翻译 郭凯声

2009 年 2 月 17 日注定是个意义重大的转折点。从那天起，“数字鸿沟”将不再仅仅针对电脑普及率（数字鸿沟原指不同地区、不同社会群体之间，因收入不同而导致电脑普及率相差悬殊的现象）；美国 1,700 家模拟电视台将彻底退出舞台，公众期待已久的全数字式广播终于登场。有线电视、卫星电视，以及电视机上装了数字调谐器（digital tuner）的用户仍然可以欣赏“CSI”、“美国偶像”等热门电视节目。家中只有老式电视机的 2,100 万户美国家庭可要叫苦连天了——这些人要么一贫如洗，要么年老体衰，要么住在农村，通常使用兔耳天线或锈迹斑斑的屋顶天线来收看节目，模拟信号全面关闭以后，他们家中的电视机再也收不到任何节目了。

自从彩色电视取代黑白电视以来，还没有一项新技术能像数字电视这样，迫使消费者如此大规模地更新主打娱乐设备。模拟电视广播以无线电波作为信号载体，而数字电视则通过电脉冲精确、高效地传送信息，传送的图像品质极佳，清晰度之高令人叹服：原野上一根根小草的叶片清晰可辨；仔细看侦探片中警探手里的勒索信，上面的字迹也一样清清楚楚。数字电视只须占用不多的带宽便可容纳海量信息，也有助于实现多种新颖的交互功能。举例来说，观看棒球比赛时，可以查阅某位球员的技术统计数据，观看烹调节目时，也可以当场查看菜谱。广电公司可以在现有带宽内设置更多的电视频道，腾出来的频段可以提高其他许多领域中的通信质量，例如，在飓风等突发灾害的应急抢险行动中，增强公共安全部门的通信能力，或者改进下一代手机的通信品质。

但仍有若干棘手的技术问题横在我们面前，即使在模拟电视广播淡出江湖之后，遗留问题仍将困扰我们很多年。且不说只能接收模拟信号的用户看不到节目，肯定怨气冲天，即便那些已经拥有数字设备的家庭，也会遇到一些有碍正常收看节目的拦路虎。实际上，有线电视网可能无法传送纯数字信号，因为许多数字电视用户仍在使用老式电视机，其中内置的调谐器只能处理模拟信号。在那些已经开通数字电视的地区，也不时爆出图像质量差和带宽阻塞等问题。或许对数字鸿沟的解释可以改得更确切点：2009 年以后的很长时间内，一系列数字鸿沟不仅会把数字电视和模拟电视的观众分隔开，还横在不同类别的数字电视用户之间。

20 世纪 80 年代，日本就已经有了高清晰度电视（不过还是用模拟系统生成的），于是，将美国带入数字电视时代的主张开始在国会里得势了。（很多人不太清楚数字电视与高清电视有何区别。其实，高清电视只是数字电视中较为引人注目的类别之一。要开通高清电视，必须满足一些特殊条件：有更大的带宽来传送信号，有更高的存储容量来存储节目，有分辨率更高的屏幕来显示图像，还要有更大的显示设备，才能充分享受收看高清电视节目的乐趣。）针对不同厂商提出的不同设计，美国政府展开了一系列测试，试图确定在下一代电视系统中，应该着力发展哪一种。最初的测试结果表明，如果不压缩信号，就不可能让高清电视成为现实——数字电视与模拟电视最大的不同就在于，前者能极其有效地压缩视频信号。因此，改造模拟电视，提高分辨率的主张很快被否定了。

美国高级电视制式委员会（ASTC）最初开发的数字电视系统，与对立厂商阵营的产品互不兼容。后来经过双方协商，最终成功拟出统一的标准。委员会

概述 / 数字电视

◆人们盼望已久的日子终于来临，美国传统模拟电视广播的退场日期定在 2009 年 2 月 17 日。数字电视将全面占领美国市场。

◆数字电视广播将带给用户如水晶般清晰的画面和多种新颖的信息服务。模拟电视停播后腾出的频道将用于应急抢险行动中的通信，或其他用途（比如用于先进的蜂窝系统）。

◆在模拟电视退场之后的若干年内，它们遗留下来的问题仍将困扰着新的数字时代。

认可的数字电视格式共有18种，其中，1080i和720p是高清电视制式，用于在宽屏上观看电视节目。1080i制式水平扫描就是指，显示每一帧图像时，都要在屏幕上沿水平方向扫描1080行，先扫描奇数行，再扫描偶数行，因此称为“隔行扫描”（“隔行”在英文中是interlacing，所以称作1080i）。720p制式则是逐行扫描，显示每一帧图像，都要在屏幕上依次扫描720行（p代表progressive，即逐行）。反观模拟电视制式的扫描行数最多也只有480行。有人认为1080i制式具有空间优势，扫描的行数更多，所以图像更清晰；有人则宣称720p具有时间优势，因为它能更好地表现快速运动。基本上，只有广播技术人员和热衷电视节目制作的人才会为这两种制式的优劣高下而争论不休，普通观众对此并不在意，只要看起来舒服就行。

随着高清电视机的面市，1998年，美国公开推出了首批高清电视广播。20世纪90年代后期，有关方面曾希望2006年彻底淘汰模拟电视广播，但他们的计划泡汤了，因为没有多少人愿意购买价格不菲的数字电视机或机顶盒（用来接收数字信号），而且高清电视节目的制作也跟不上节奏。例如，当时NBC（美国全国广播公司）仅推出了一个用高清电视播出的专题节目“今夜秀”（Tonight Show，1999年开播），5年之后，NBC黄金时段的电视剧和情景喜剧才全部采用1080i制式播出，而且广播公司也无意淘汰模拟广播。同样是家用视频格式的DVD，面世的时间只比高清电视早一年，却一炮而红，迅速成为消费电子发展史上最有人气的新产品。相比之下，高清电视制式无论在销售额，还是在赢得公众认同的方面，都无法望其项背。

2005年3月，业内厂商在美国华盛顿特区举办了一次高清电视峰会，依然没有拿出终结模拟电视广播的确切方案。到2006年初，美国总统布什却签署了一项法案，限定在短短3年内过渡到全数字式电视广播。这项法案的名称——“2005年赤字削减法”，泄露了玄机：原来美国政府想从收回的模拟频段（约有108兆赫）中拿出一部分再出售，借机捞一笔（可筹得数十亿美元）。除了政府急于圈钱之外，其他因素也在催促模拟广播电视退场：根据相关规定，美国新出产的电视机中，所有屏幕尺寸在25英寸及25英寸以上的都必须安装数字调谐装置（从今年3月1日起，不论屏幕大小，美国出产的新电视机都一律强制安装数字调谐器）；大部分黄金时段的联播节目和所有重大体育赛事都要采用高清电视播出；大部分有线电视网会开通4到12个高清电视频道（不过与有线电视频道的总数相比，这个数字确实小得可怜）。

高清电视画面的像素数量为现有电视的10倍，因此分辨率高得多。画面宽高比为16：9，而传统电视仅为4：3。

现有电视

高清电视

想说再见不容易

模拟电视广播一退场，电视机收不到节目，录像机录不下节目，屋顶天线变成一堆废铁……家里一系列电器都被迫更新。掏空荷包，急匆匆投入数字电视的时代，这才发现数字电视还不成熟，有时甚至还不如以前。

有人认为，政府强制模拟电视广播限期退出市场，影响远远超过20世纪60年代彩色电视取代黑白电视时的震荡——不管怎么说，这些黑白电视机到今天还能派得上用场。可现在，除非装上数字转换盒，否则电视机就得变成

中国相关资讯

◎国家广电总局力挺有线电视向数字化过渡，2004年9月公布过渡时间表：到2005年我国有线数字电视用户超过3,000万户，2010年全面实现数字广播电视，2015年停止模拟广播电视的播出。目前，深圳、青岛、杭州等城市已完成整体转换并接受验收，广西、陕西两省已开始全省网络的整合和整体转换，不过到今天都没能达到第一步3,000万户的目标。

◎原定2005年开展卫星数字电视直播业务，后拖延到2006年11月发射鑫诺二号直播卫星，但卫星发生故障，计划只能再次延后。

◎如果我国没有自己的数字电视地面传输标准，就必须按照美国、欧洲的传输标准制造相关产品和设备，还要给付专利费，对我国数字电视产业的成长非常不利。因此，2006年8月，千呼万唤的数字电视地面传输标准终于出台，将于今年8月1日正式实施。

一堆废铁。不带附加功能的标配机顶盒售价预计约 60 美元；对任何一个家庭而言，为家里的每台电视机加装这样一个机顶盒，都是一笔不小的开支。

据美国广电协会（NAB）统计，美国 2,100 万户只能接收无线信号的家庭总共拥有 4,500 万台电视机。有些安装了有线或卫星电视接收装置的家庭中，即使本来拥有好几台电视机，也只为其中 1 台电视配备了接收装置，总计还有 2,800 万台左右的电视机无法收看收费节目。这样，大限到来时，美国全国约有 7,300 万台电视的屏幕上可能一片雪花，什么也看不到。（当然，许多家庭的电视连着 DVD 或电子游戏机，就算收不到电视信号，也不一定就毫无用处。）

为了减轻数字电视转换带来的经济压力，美国国会授权商务部国家电信与信息管理局（NTIA）动用 15 亿美元作为补贴。2008 年起，负担不起机顶盒的家庭将获得两张票面价值各 40 美元的代金券。老式的 VCR（磁带录像机）和 DVR（硬盘录像机）也必须接到转换盒上才能录下地面传输的数字信号（即无线数字电视），从 2007 年 1 月 1 日起，市面上出售的所有新机，包括 VCR、DVD 播放 / 刻录机，DVR，电视卡等都必须内置数字调谐器。

不过，即使电视机能收到地面数字信号，也不能保证一定可以看到图像。模拟电视的收视质量可以“适度降级”（graceful degradation）：家住接收区边缘的观众可能会看到重影或忽明忽暗等现象，但多少能看到些东西。而数字电视走的是极端路线：要么清清楚楚，要么什么也看不到。

从数字电视的角度看，模拟电视每秒要完整传送 30 帧图像，简直是对带宽的极大浪费。数字电视只须传送基准画面以及各基准画面之间的变化，在此前提下，就能采用数字压缩技术传送图像。如果把分配给单个模拟频道的带宽，拿去传送标准清晰度的数字电视，足可容纳 6 个频道；就算用来传送对带宽要求严得多的高清电视，也可容纳 1 个频道。也正因为信号经过大幅压缩，所以瞬间的信号丢失对数字电视的接收影响极大。没有模拟电视那种高度的数据冗余作为缓冲，一旦有瞬间信号丢失，就只能定格在它接收到的最后一帧基准画面上，或者变成一幅马赛克拼图，甚至干脆黑屏。在侦探片中即将抖出杀手身份的关键时刻遇到这种问题，那就实在太扫兴了。

并不是只有在远离信号发射塔 80 英里外的山沟里，才能体会到与数字电视无缘的滋味。住在大城市的人也依然被多径反射（multipath reflection）弄得焦头烂额。电视信号往往要在建筑物的墙上辗转反射多次，才能进入用户的电视机，因此，用户接收到的往往是同一节目在不同时

■两种高清电视制式的工作原理不同。1080i 制式水平扫描显示每一帧图像时，都要在屏幕上沿水平方向扫描 1080 行，而且先扫描奇数行，再扫描偶数行，因此称为“隔行扫描”（“隔行”即 interlacing，因此称作 1080i）。720p 制式则是逐行扫描，每显示一帧图像，都要在屏幕上依次扫描 720 行（p 代表 progressive，意为“逐行”）。

刻到达的多个信号。相比欧洲普遍采用的传送制式标准 COFDM（编码正交频分复用调制），美国采用的 8-VSB（8 级残余边带）更容易受信号多次反射的影响。

与数字电视初创时代的老前辈相比，现在电视机处理器的功能更强大，能够更从容地应对这个问题。新一代电视机配备的高性能芯片，在相同时间内能够处理更多反射信号，而且过滤信号的速度也更快。不过，人们如果想换个频道，而这个频道的信号方向不同，可能换个台就要调整一下室内天线的方向，这让人回想起大多数家庭还没有屋顶天线和有线电视的年代。多径干扰确实是数字电视的软肋，但影响不是很大：没有加入有线电视网或卫星电视网的美国家庭约占总数的 15%，其中又只有一小部分受到这个困扰。虽然靠广告收入维持的“免费”电视自有它存在的理由，但无可讳言，付费收看的高清电视节目（包括优秀大片、体育节目及自然频道等）要比地面数字电视丰富得多，而且差距还可能进一步扩大。

权宜之计

数字化意味着更多的频道，更大的利润，运营商们都在盘算如何尽快甩开浪费带宽的模拟频道。一边是数字电视的诱惑，一边是观众家中的老式设备，身处两难境地中的地面电视、有线电视和卫星电视运营商各有各的打算。

美国政府额外拨给无线电视台 6 兆赫频段，供它们在过渡期间使用（地面数字电视除了覆盖普通用户，还会为

移动车载电视、广场大屏幕等提供节目）。无线电视台将继续用两个频段（均为 6 兆赫）同时播送模拟信号和数字信号。这时，就可以做一些靠模拟信号不可能做到的事——同时播送几套节目：把 6 兆赫全用来播放一套高清电视，或者安排几套标清数字电视频道。美国广电协会宣称，其中一个标清电视频道可以一天 24 小时连续播出（即使电视台正在播放电视网的高清节目时也是如此），播放质量不会受太大影响。

2009 年以后，有线电视用户仍然无法摆脱模拟电视。广播公司倒乐意尽快实现全数字化，因为观众更喜欢看高清频道。高清电视节目的宽频格式比标清电视的 4∶3 格式更符合观众们新买的 16∶9 电视机（也更适合他们的双眼），而且高清电视能展示的细节丰富得多。如果说 CSI 系列侦破剧的口号是“跟着证据走”，那么高清电视画面的两百万像素（分辨率达到 1920×1080）能更清楚地指明寻找证据之路。然而，高清电视日益升温，给有线电视和卫星电视运营商摆出了一道难题：它们掌握的带宽有限，却要分配给为数众多的电视频道和其他广播业务使用。

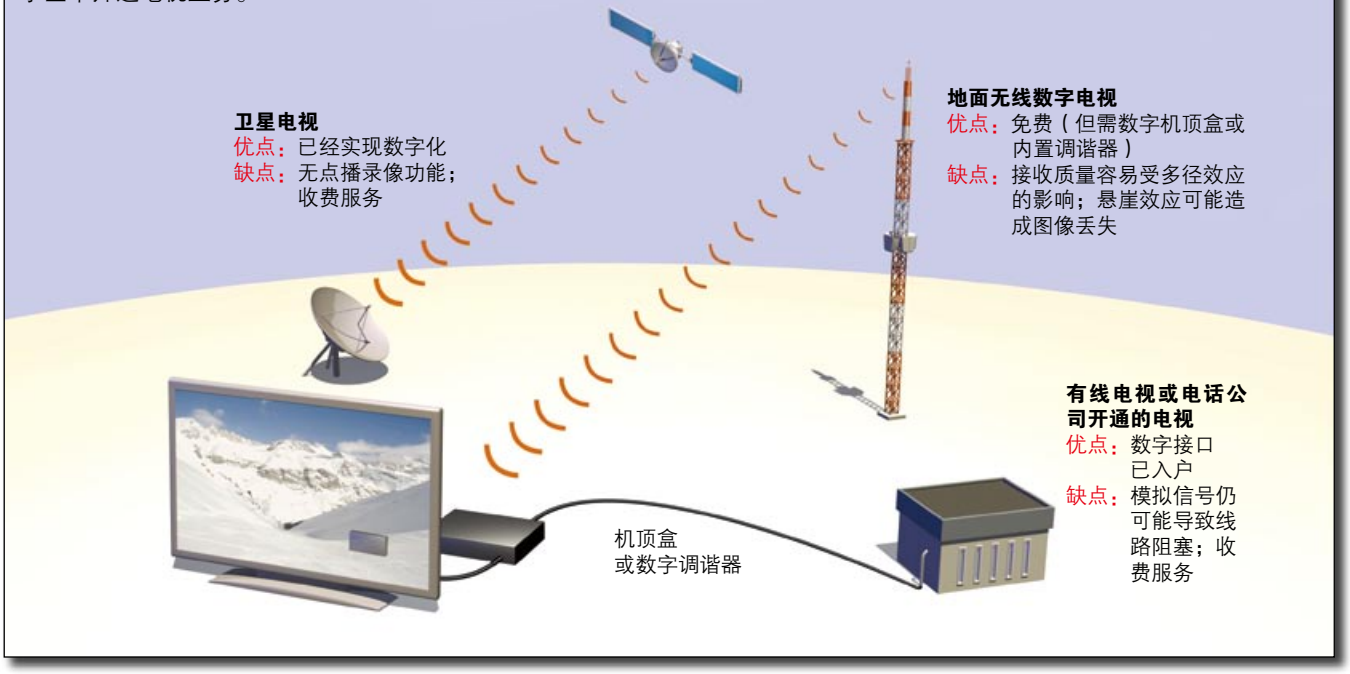
有线电视网占去 750 兆赫的带宽，数以百计的电视频道、点播电影、电话业务、宽带上网以及互动节目向导还在你争我夺。由于模拟电视频道这个头号带宽杀手的缘故，即使最先进的有线系统眼下也只能为用户提供十几个高清频道。据有线电视行业的研究机构 Cable-labs 称，2009 年以后的很长时间内，有线运营商还得继续传送模拟电视频道。在入户同轴电缆的传输容量中，这些线性的模拟频道（即连续传送，单向的频道）就占了 550 兆赫之多。有线电视公司不可能把模拟频道全部扫地出门，因为上百万有线电视用户还在用老式电视机。

当然，运营商们可以等，到下一个 10 年的某一时刻，大部分观众都换上数字电视机之后，再过渡到全数字化。这些数字电视机中不仅装有数字电视调谐器，还有其他各种条件接收系统（Conditional Access System，CAS），比如大小与信用卡相仿的有线卡（CableCARD）或有线卡的纯软件副本。不过，他们也有其他选择——让观众租用数字有线盒。为了解决这部分观众的问题，有线电视运营商得为每台电视机准备一个转换盒，对拥有多台电视机的家庭，还得提供好几个，公司恐怕不愿意承担这样的成本（这里所说的转换盒就是国内常说的数字电视机顶盒）。

改善传输技术能缓解传输渠道的问题。有线电视公司已试着采用改进版的系统架构——切换式广播业务（Switched broadcasting，又名 Switched digital video，即切换数字视频）。在光纤／同轴电缆混合系统中，光纤通信干线的带宽似乎取之不尽——铺设到小区，构成有线电视网上的一个节点，然后由同轴电缆接过最后一棒，用它仅仅 750 兆赫的带宽，把信号送到节点范围内的 300 ~ 500 家用户。传统的信号分配方式会将所有频道同步传送到每个家庭中，

数字传送

数字电视信号可以通过3种不同方式——卫星、天线和电缆，传送到千家万户的电视机上。电话公司也开始在一些试点小区中开通电视业务。



电视类型一览

技术	分辨率	屏幕宽高比	音效
高清电视（HDTV）	720p或l080i	16：9	杜比数码5.l声道格式*
增强清晰度电视（EDT）	最低480p	16：9或4：3	杜比数码5.l声道格式
标清电视（SDTV）	480i或更低	16：9或4：3	杜比数码5.l声道格式
模拟电视	低于480i	4：3	调频立体声音效

*杜比数码5.1声道格式：具有左右两路主声道、中置声道、左右两路环绕声道和重低音声道。前5个都是全频域声道，而重低音声道只发120Hz以下的低音，称为0.1声道，这样便构成了5.1声道格式。

这样家长可以收看高清体育频道（ESPNHD）的节目，而孩子则可以在自己的房间里欣赏 MHD(MTV 推出的高清音乐频道）。传统方法对所有频道一视同仁，不论是人气极高，还是无人问津，都会分配到相同的带宽。

而新的系统只为当时收视率较高的频道分配带宽。既然大多数人都选择了那几个频道，因此完全可以减少给冷门频道分配的份额，以便在需要时开通更多的高清频道，这正是新方法的巧妙之处。目前，有线电视行业比较关注光纤／同轴电缆混合系统，原因之一就是电信公司 Verizon 和 AT&T 之间的竞争日趋激烈。这些电信公司已经着手选择试点小区，把光纤铺到小区里的家家户户（或以若干户为一组，让光纤通到每一组）。预计几年内将有更多的家庭从各自所属的“电话”公司那里接收电视节目。

不同于各霸一方的有线电视公司，拥有卫星直播电视(DBS) 的公司，比如 DirecTV 和 DISH Network 等，面向美国全国提供服务，而且一直采用高效的数字广播技术。每位用户都通过一台外置调谐器／解码器来接收信号，老式电视机也能正常收看。不过，随着频道总数节节攀升，网络高清电视的队伍日益壮大，而用户们越来越多地通过卫星电视收看本地频道的节目，DBS 的带宽也有些招架不住了。

DBS决定三管齐下，应对挑战。首先增加卫星数量。使用老式设备的用户如果想收看新增的频道，可能需要再购买一台“锅盖”(碟形天线)，或者用椭圆形锅盖代替圆形锅盖，接收天空中不同位置的卫星发来的信号。其次，为了充分利用现有频率，DBS决心推广定向的点波束(spot beam)技术。卫星广播原本会将相同的信号像雨点般撒在整片大陆上，但点波束技术则会将频道聚焦，发送到城镇特别密集的地区。不同的点波束瞄准不同的城市。虽然每道点波束都传送电视连续剧“实习医生格蕾”(Grey’s Anatomy)似乎有点浪费带宽，但这有助于减轻带宽压力，因为本地商业广告和节目也可以打包放在点波束的信号中一起传送，这一点与地面或有线电视没什么区别。

第三，卫星系统正从 MPEG-2 视频压缩格式向 MPEG-4 过渡，可容纳的频道数目将提高一倍。不过，用户可能要换一台可解压 MPEG-4 信号的机顶盒。人们对画面中不同物体的更新要求有高有低，而 MPEG-4 编码格式可以把同一画面划分出不同的等级，所以编码效率较高。举例来说，足球比赛时，某个重要的前景物（如足球）可以保持最高的分辨率，而背景中那群球迷的图像的更新速率则可以相对滞后。这一思路与 MP3 音频压缩格式的编码原理如出一辙：有时，一件乐器的声音已经盖过了另一件乐器。既然有些声音本来就听不到，还不如干脆通过编码把它删掉，这样省下了不少比特，从而降低带宽的占用量。

最后一公里

数字电视的大潮让人有点措手不及，虽然还面对着重重困难，但人们可以肯定，模拟电视广播的时代将一去不复返。

无论通过哪种方式传送信号，想录下电视节目的观众都可能会碰上另一道数字屏障。地面传输的电视节目已经全数字化，内置模拟式调谐器的 VCR 无法录下这些节目，不过，有线电视的模拟频道还在播放，VCR 暂时还不用退休。有线电视和卫星电视用户也可以选择淘汰 VCR，租用或购买一台装有硬盘驱动器（能以最高分辨率录下节目）的高清性能机顶盒，或使用带外置硬盘的录像机（如 TiVO 公司最新推出的高清款录像装置），内置硬盘的高清电视机。如果用户希望用同一台装置播放收藏的老式 VHS 盒式录像带，并录制无线高清电视节目，也可以选择 DVHS 机。

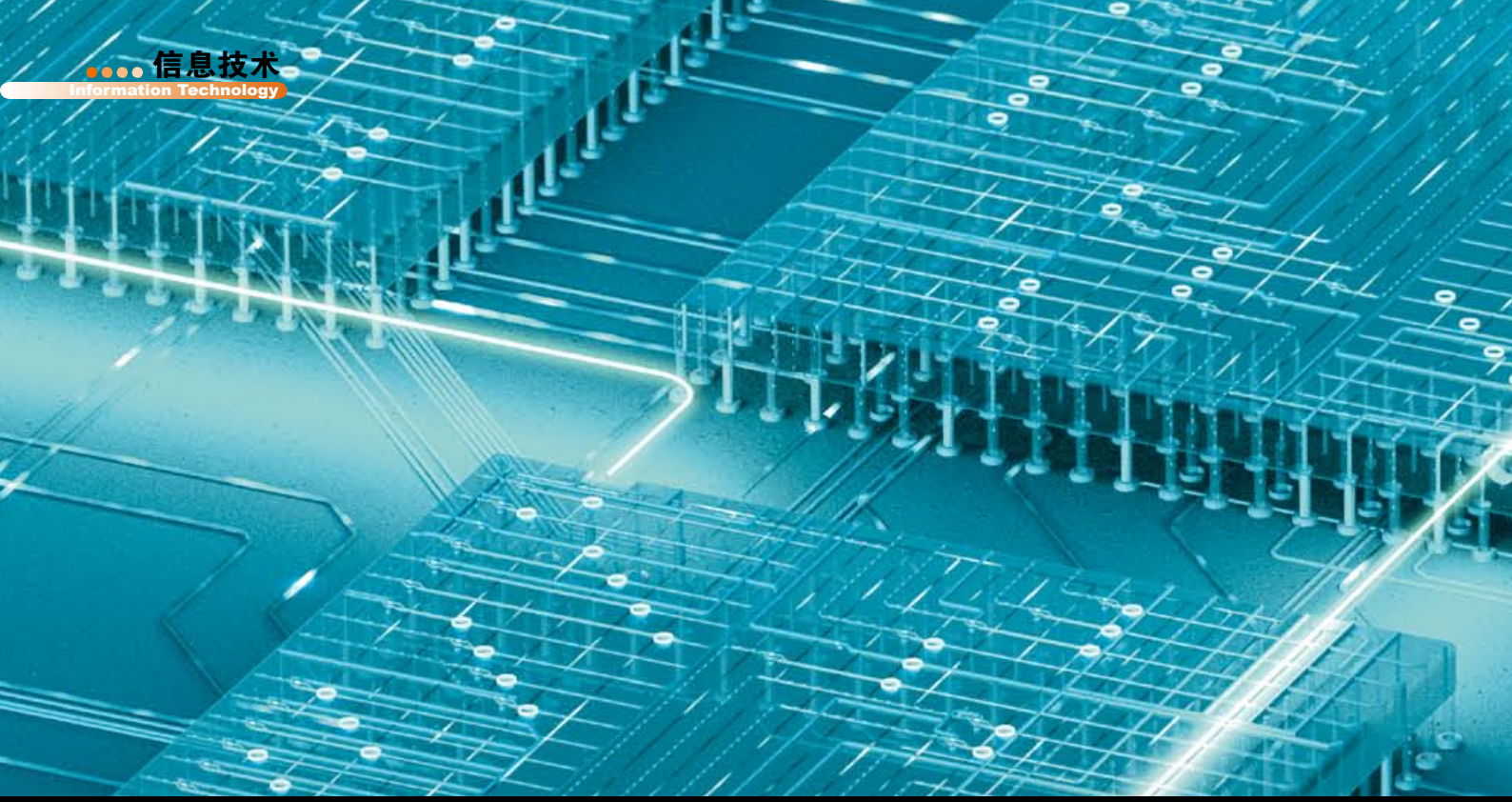
当然，以后可能会遇到数字图像丢失的问题，购买新的机顶盒也是件烦心事，但高清电视的拥护者们声称这些付出都是值得的，因为高清电视清晰的画面令人啧啧称奇，还能提供更多的服务。2009 年 2 月的大限日益逼近，有一点可以肯定：电视的历史即将翻开全新的一页。

▶环球科学小词典

悬崖效应 (Cliff Effect): 接收地点离发射台越远，接收到的讯号就越弱。传统电视的画面会渐渐模糊，出现重影及雪花现象，画面不会突然消失。但数字电视接受信号有个门限：未低于临界点时，能收到清晰完美的画面；一旦低于临界点，就完全收不到画面。

本文作者

20 多年来，迈克尔·安东诺夫经常为美国著名影音杂志 Video、Sound&Vision 和科普杂志 Popular Science 等撰文，报道家用电器技术的进展。读高中时，他就组装过一台作用距离为两英尺的“Thinking Boy”无线电发射器，还在演讲课上把它吹嘘成电子卡祖笛（卡祖笛结构非常简单，只要会哼歌就能吹奏，通常当作小孩的玩具）。迈克尔·安东诺夫提醒大家注意他的姓氏 Antonoff，以“模拟”（Analog）开头，而最后三个字母代表“结束”（Off）。



追寻硅激光

撰文 巴赫拉姆·贾拉利（Bahram Jalali）
翻译 虞骏
审校 冯衍

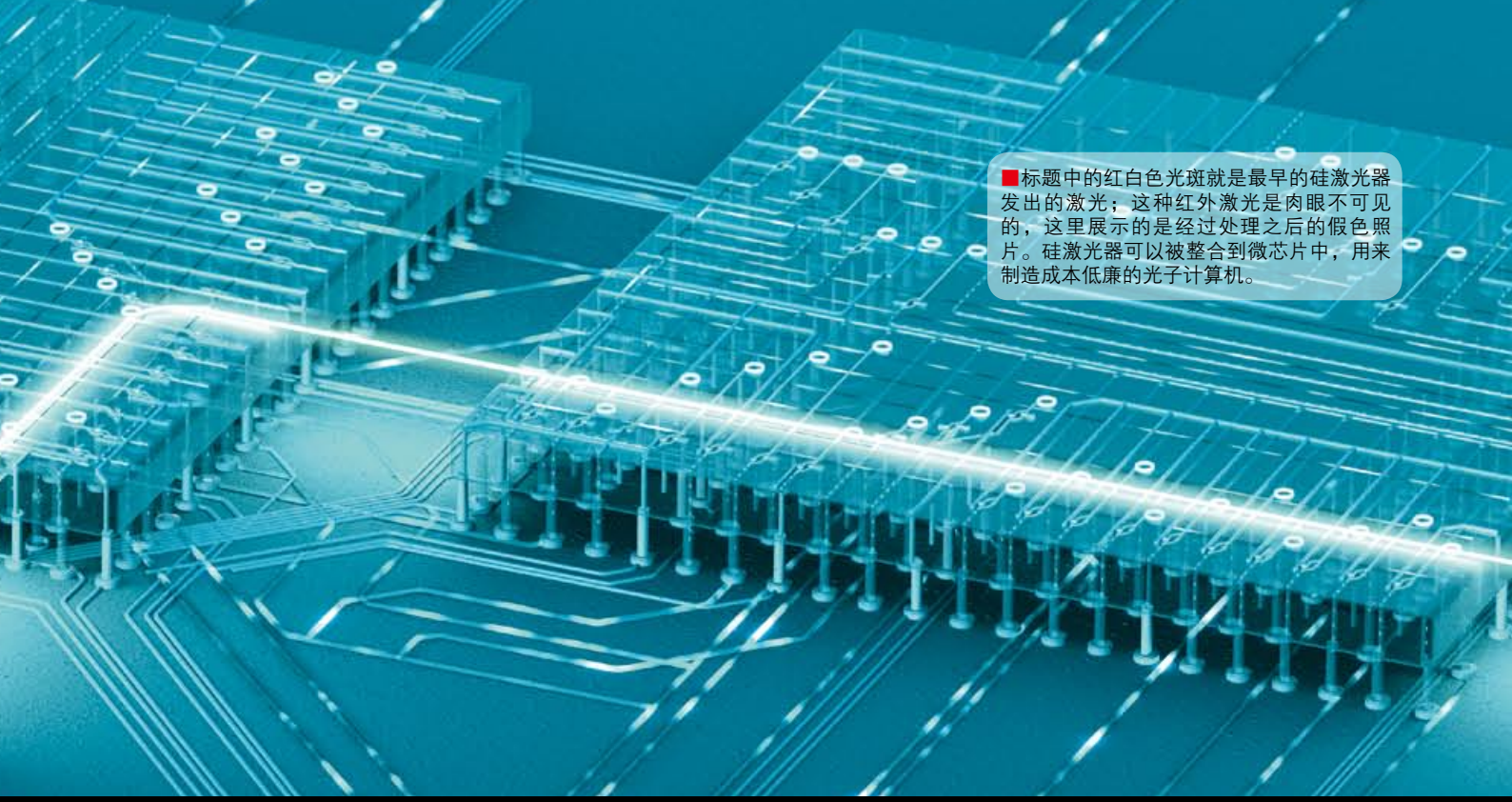
成本低廉的硅芯片，使工程师拥有了操控电流的能力，让电子乖乖地在电脑、手机和其他消费电子产品中执行各种各样的任务，实现五花八门的功能。然而，在某些应用领域，特别是数据信号传输方面，电子并不是执行任务的最佳选择。用激光替代电流，可以将现有技术的数据传输速度上限，再提高好几个数量级。例如，为家庭提供网络连接的电缆调制解调器（cable modem），如果改用激光来传输数据，传输速率就将提高整整 1 万倍，轻松传输超大的高清视频文件。光与电的携手合作，还可以在许多应用领域大显身手。例如，光电技术可以将“芯片实验室”（lab-on-a-chip）的诊断分析能力与无线设备的通讯能力整合起来，应用到大规模环境监控和安全防卫领域，用来检测污染物、化学武器和爆炸品等。

与硅芯片相比，现有光电设备使用的激光材料，不但昂贵许多，来源也不广泛。如果能够找到某种方法，让硅发射高强度光束，进而像操控电子一样驾驭光子，必将大大降低这些器件的成本。为了这个目标，科学家已经坚持不懈地努力了几十年，但是硅的本性总是阻碍着他们取得成功。如今，我的研究小组率先让硅发出了激光，然后又有好几个科研团队实现了这一点，这些进展将推动现有的电子设备大步迈入光电时代。

先天不足

硅的固有性质决定了它无法高效发光，而且基本不具备光放大能力。而高效发光和光放大，正是产生激光的两大基本步骤。在发射激光这方面，硅显得天资愚钝。

为什么我们花了这么长的时间，才让硅学会了发射激光呢？简单地说，这与产生激光的两个基本步骤有关。常



■标题中的红白色光斑就是最早的硅激光器发出的激光；这种红外激光是肉眼不可见的，这里展示的是经过处理之后的假色照片。硅激光器可以被整合到微芯片中，用来制造成本低廉的光子计算机。

硅芯片技术的发展，带动计算机性能不断提升，成就了著名的摩尔定律。然而，现有硅芯片技术即将达到物理极限，唯有另觅他途才能继续发展。假如硅能够发出激光，就能借助成熟的硅芯片工艺，制造出便宜实用的光子计算机，用光子取代电子进行运算和存储，大幅提升计算机的性能。几十年来，科学家执著追寻着妙计良方，终于让“天资愚钝”的硅晶体，射出了奇妙的激光。计算机连同其他的电子设备跨入光电时代已经指日可待。

见的激光材料，例如 DVD 光驱中的砷化镓，处于激发态时能够高效发光（这是第一步），发出的光子又会“刺激”其他原子释放更多光子（第二步），最终将光放大成激光。硅在这两方面都先天不足，不过要想真正理解这一点，我们还得从激光器的工作原理说起。

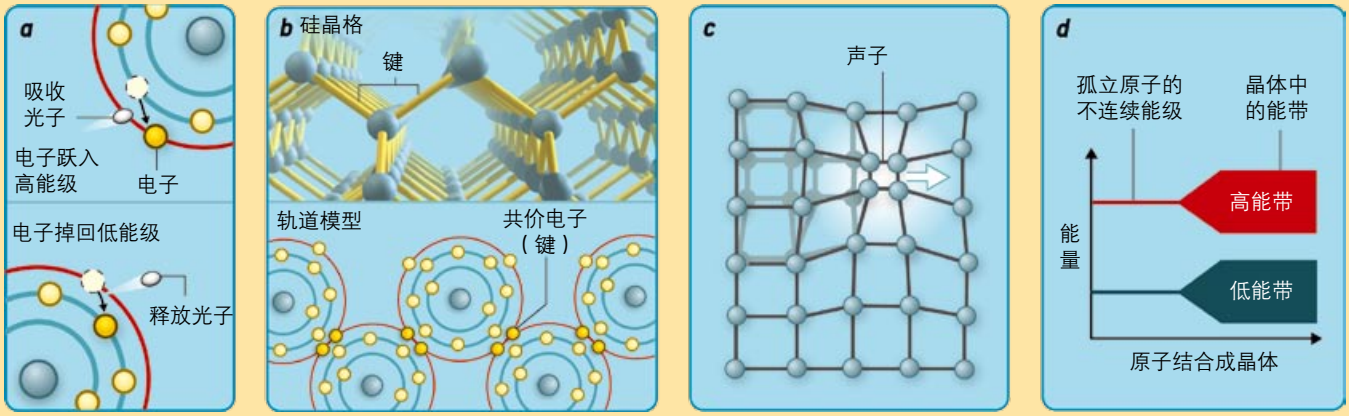
在激光器中，外部能量通常会以光或电流的形式输入到产生激光的媒质之中，将媒质原子中的电子“泵浦”（pump）到较高的能级，物理学家将这种状态称为激发态（excited state）。当这些原子回到原来的状态（又叫基态，ground state）时，多余的能量就会以光子的形式释放出来。这些光子朝任意方向随机射出，最终产生低强度的漫射光，就像荧光灯管发出的光线一样。这个过程被爱因斯坦称为“自发辐射”（spontaneous emission）。

自发辐射产生的一个光子，如果从一群已被泵浦到高能级的电子中穿过的话，就会“激励”（stimulate）这些电子同时释放过剩的能量。由此产生的光子都会朝一个方向射出，而且振荡的步伐也协调一致，这样就产生了方向性极好的光束。这一概念最早是由爱因斯坦在 1917 年发表的一篇论文中提出的，他把这个过程称为“受激辐射”（stimulated emission）。接下来，随着光束在媒质中其他处于激发态的原子间穿行，它的光子又会激励更多的电子，释放出越来越多的光子。整个过程犹如白雪皑皑的高山上，一个小小的雪球越滚越大，最终导致雪崩一样。

在随后的近 40 年里，爱因斯坦的预言没有引起太多的关注。直到 20 世纪 50 年代，物理学家才开始意识到，这一现象可以被应用到光学设备上。1958 年，查尔斯·汤斯（Charles Townes）和阿瑟·肖洛（Arthur Schawlow）提出设想，在具备受激辐射能力的光放大材料的部分表面，包裹上镜面涂料，把材料中产生的一部分光子反射回去。这样一来，受激辐射就会像链式反应一样，不断地自我强

为什么硅很难发出激光

让硅发出激光，能为成本低廉的光子计算机带来巨大的希望，但硅的天然属性却使它很难成为激光的媒质。



激光能否产生，取决于这种材料原子外侧轨道上电子的量子行为。单个原子的一个外层电子吸收一个光子之后，会跃迁到一个更高的轨道和能级上（a）。受激电子掉回低能级时，会释放一个光子。

在固体中，原子会共享外层电子，形成共价键（b）。为了实现光放大（产生激光的先决条件），外部能源将共价电子泵浦到高能级。这些受激电子会释放光子，接下来，这些光子又会激励更多光子的产生，从而使光放大。光子与受激声子发生碰撞，也可以实现光放大。所谓声子，指的是量子化的晶格原子振动（c）。

当单个原子结合成晶体时，由于受到许多邻近原子电磁环境的影响，共价电子的能级发生了变化，加宽变成了能带（d）。因此，晶体中受到泵浦的电子就会从一个能带跃迁到另一个能带。

将电子的能量和动量绘制成一张图表。在砷化镓之类的常见激光媒质中，由于高低能带中的电子动量相同，能带在竖直方向上刚好对齐（e）。（能带描述了电子可能占据的量子态；每一种量子态都拥有一个物理量，可以被视为经典物理中的动量，在碰撞过程中必须保持守衡。）硅的电子在不同能带上则拥有不同的动能，这就意味着，仅仅凭借吸收一个光

化。一旦发展成熟，这种方法就能产生具有特定波长的强大光束——激光。两年后，西奥多·梅曼（Theodore Maiman）演示了世界上第一台可以运作的激光器，采用的激光材料是红宝石晶体，为它提供浦泵能量的则是一盏强光灯。

事实证明，与红宝石晶体和其他激光材料相比，硅只称得上“资质平庸”。硅是一种半导体，它的导电性能介于优良导体（例如铜）和绝缘体（例如橡胶或某些陶瓷）之间。半导体中的电子都位于能带之中，能带的性质决定了它的电性能，同样也决定了发射激光的潜质。不过能带又是什么呢？

受到量子理论的约束，半导体中的一些能级“允许”电子占据，另外一些则“禁止”电子占据。电子能够占据的能级范围就被称为能带，能带之间的间隙则是电子无法占据的能级范围。处在原子外侧轨道上的一个电子，既可以吸收一个光子获取能量（跃迁到高能带），也可以发射一个光子释放能量（落回到低能带）。物理学家将这种相互作用，视为光子与电子之间发生的某种散射碰撞。

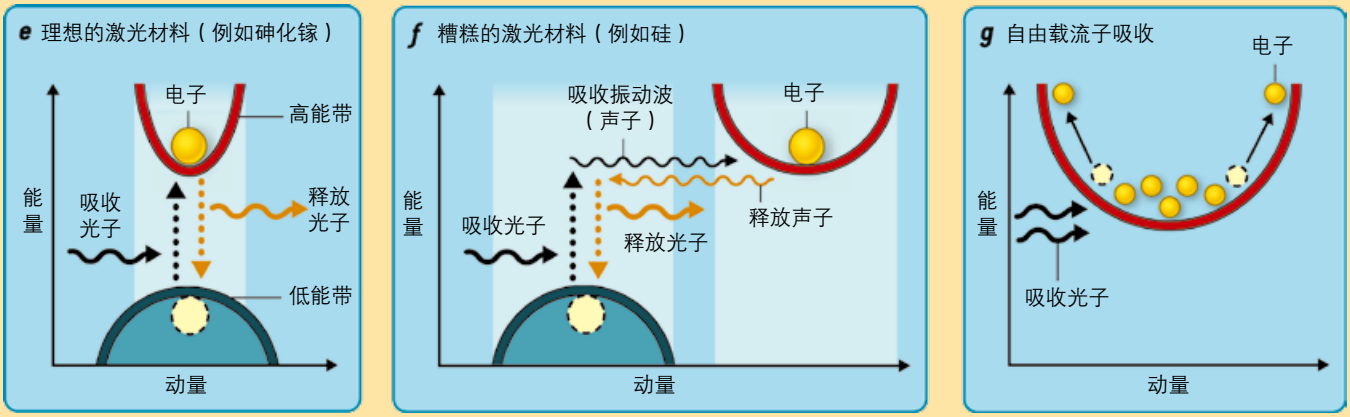
我们可以把能带看成可以装盛电子的“水桶”，这些“水桶”的位置高低不一。通常，几乎所有的电子都会呆在较低的水桶中，而较高的水桶基本上空无一物。但是，如果一个光子与一个电子发生碰撞，而且光子的能量能让电子跳过能带间隙，这个电子就会被泵浦到高能带中。就像往较低的水桶中丢一块够大的石子，水花就会溅到较高的水桶中一样。这就是光吸收（Light absorption）效应，光电池将光能转化为电能的基本原理也同出一辙。

要让这种材料产生光子，就必须让它吸收足够多的能量，将低能带中的大量电子泵浦到高能带中，实现所谓的粒子数反转（population inversion），当然这里的“反转”是相对于能带中通常的电子分布情况而言的。要实现粒子数反转，用不着将

概述 / 硅激光器

◆能够像处理电子一样处理光信号的硅芯片，一直是科学家苦苦追寻的目标，但要让硅发出光来并不简单，发出高强度的激光更是难上加难。这样的技术进步可以在超高速数据传输、新型传感器网络和许多其他领域取得突破。

◆经过多年的攻关，科研人员终于利用多种不同的材料技术，让硅发出了激光。硅光电子技术的诞生已经指日可待。



子所获得的能量，还不足以让一个电子跃迁到高能带中（f）。相反，电子必须等待一个声子，携带着适当的多余动量，适时出现在这里，充当起中介的角色，才能完成能量的转换。不幸的是，这些电子往往还没有等到合适声子的出现，就已经将它们的能量以热能的形式耗散掉了。因此硅辐射光子的效率不高。

硅晶体发光效率的低下，还让一种叫做自由载流子吸收的能带内部现象，阻碍了光的放大和激光的产生。当一个过路的光子与高能带中的一个受激电子（自由载流子）相互作用时，就有可能发生两种情况：电子在光子的激励下辐射出另一个光子，然后掉回低能带；或者电子直接吸收光子，移动到同一能带的较高位置上（g）。后者无法产生另一个光子，因此不利于光的放大和激光的产生。

在图表中，砷化镓的高能级较窄，而且边缘陡峭，可以容纳的电子相对较少。因为砷化镓的光子辐射率较高，再加上它的能带排列对齐，光放大的效率也更高，它的光子辐射可以轻易超过光子吸收，是理想的光放大材料。硅的高能带较宽，而且边缘平缓，需要更多电子才能填满，因此自由载流子吸收率较高；此外，它的能带没有对齐，光子辐射率也较低，不是理想的光放大材料。

整个能带中的电子全都搬到高能带中去，只要影响处于低能带顶层附近的电子就行了。工程师们经常迫使电流流过半导体二极管，通过这种方式来直接激发电子。像梅曼那样用外部光源照射半导体，也能将电子泵浦到高能带。

高能带中的电子最终会释放能量，发射光子。由此产生的光子在半导体中穿行时，如果半导体中有许多电子处在高能级（即半导体处于粒子数反转状态），半导体就会受激辐射，“抛”出更多的光子。在最理想的情况下，半导体辐射的光子能量刚好等于它所吸收的能量。

在这些辐射和吸收过程之中，尽管电子和光子交换了能量，系统的总能量却是守衡的——也就是说，能量的输出等于能量的输入，这是由能量守衡定律决定的。不过吸收和辐射过程的发生，还必须遵守动量守衡定律。对于在晶体中穿行的一个光子来说，动量由它的波长直接决定，你可以把它理解成光子保持原有运动方向、继续前行的趋势。光子是纯粹的能量包，在电子与光子的散射碰撞中，它的动量几乎可以忽略不计，因此只有当高能带与低能带中的电子拥有相同的动量时，辐射和吸收过程才最容易发生。在砷化镓和磷化铟等常用的激光材料中，高低能带中电子的动量是相等的——如果以能量和动量为坐标画出它们的能带，高能带恰好位于低能带的正上方。这样的“对齐”关系，使得能量可以在电子和光子之间直接交换（参见本页插图）。一种物质是否拥有这种对齐关系，则由这种材料的晶格中原子的排列方式所决定。

对于硅来说，由于它的原子晶体结构并不理想，本身就没有这种对齐关系——也就是说，这种材料的高能级与低能级之间，电子的动量存在着巨大的差异。[用比较专业的话说来，能带描述了电子可能占据的量子态（quantum state）；每一种量子态都拥有一个物理量，可以被视为经典物理中的动量，在碰撞过程中必须保持守衡。]因此，电子无法在满足动量守衡条件下，轻易与光子交换能量。事实上，它们必须等到硅晶格中的一个振动波，即所谓的声子（phonon），携带着必不可少的额外动量，适时出现在这里，充当起中介的角色之后，才能完成能量的转换。不幸的是，硅晶体中的许多电子往往还没有等到合适声子的出现，就已经将它们的能量以热能的形式耗散掉了。因此，硅晶

体辐射光子的效率极低：大约每 100 万个处于激发态的电子，才会有 1 个成功地释放出光子。而砷化镓之类的常见激光材料辐射光子的效率大约是硅的 1 万倍。

上述原因虽然限制了硅激光器的效率，但是并没有阻碍硅晶体发射激光。硅的另外两个固有性质才是真正的绊脚石。第一块绊脚石与自由载流子吸收（free carrier absorption）有关，这一过程发生在同一个能带之中。设想一群电子（即自由载流子）已被泵浦到高能带中，当一个光子经过，与一个电子发生相互作用时，就有可能发生两种情况：电子在光子的激励下辐射出另一个光子，然后掉回较低的能带，实现光的放大，有利于激光的产生（即受激辐射过程）；或者电子吸收光子之后，只是移动到高能带中的较高位置，无法产生另一个光子，也就无法实现光放大，不利于激光的产生（自由载流子吸收）。这两种效应此消彼长，谁占上风取决于已被泵浦到高能带中的电子的数目。

在砷化镓这样的理想激光材料中，高能带较为狭窄，而且边缘陡峭，只能容纳很少的电子。相反，硅的高能带不仅更宽，边缘也更加平缓，需要更多电子才能填满。这样一来，硅晶体中发生自由载流子吸收的可能性就大得多。因此，在受激辐射的效率方面，硅晶体又一次落在了砷化镓的后面——砷化镓辐射的总光子数很容易超过它所吸收的光子，而硅则基本不具备光放大能力。

另一块绊脚石则与一种名叫俄歇复合 (Auger recombination) 的过程有关。在这个过程中，处于高能带中的电子非但不发射光子，反而会将多余的能量转移给其他电子，最终转化为热量，并消耗殆尽。这一过程中浪费掉的光能总量，取决于高能带中出现的电子数目。为了克服辐射光子效率方面的“低能”，硅必须将更多电子泵浦到高能带，但这样一来，反倒使它经历的俄歇复合过程远远超过砷化镓，使硅辐射光子的效率变得更低。

走出困境

将电子关进量子牢笼，它就会变得更加躁动不安，这种现象提高了硅晶体的发光能力，催生出许多技术创新，为硅激光的产生带来了希望。

过去 5 年来，研究人员已经找到了一些绕开绊脚石的方法。例如，利用一种被称为量子限域（quantum confinement）的现象，就能增强硅辐射光子的能力。当电子的运动在一个或多个方向上受到限制时，这种现象就会出现。一个电子在空间的三个维度上都受到约束，那么它就处于一个量子牢笼之中，牢笼的尺寸越小，电子就越加“躁动不安”。这种效应是海森堡不确定性原理（Heisenberg uncertainty principle）的结果，换句话说，电子的位置被约束，它的速度就会更加随机不定，动量（等于质量乘以速度）也因此变幻多端。这种情况大大降低了电子–光子能量转换必须满足的动量守衡门槛，提高了硅半导体辐射光子的效率。

为了给硅建造量子牢笼，研究人员可以制作一片硅石（二氧化硅）玻璃薄膜，并将硅晶体的细微颗粒植入其中。这些纳米晶体（nanocrystal）的宽度仅为几个原子，因此能够实现量子限域。用外部光源照射这些纳米晶体，就可以将其中的电子泵浦到高能带。2000 年，意大利特兰托大学（University of Trento）洛伦佐·帕韦西（Lorenzo Pavesi）领导的科研小组率先公布了硅纳米晶体实现光放大的证据。物理学界最初对此一片质疑之声，但是美国罗彻斯特大学的菲利普·福谢（Philip Fauchet）和其他研究人员很快就验证了这一结果。尽管这种方法还没有转化为实用的激光器，它却催生了其他一些技术创新，并取得了令人鼓舞的成果。

其中一项创新与稀土元素（rare earth element）的使用有关。科学家知道，像铒这样的稀土元素是理想的发光材料。设备制造商将铒掺入光纤的玻璃材料中，就能制造出适合电信网络使用的泵浦光放大器和光纤激光器。意大利卡塔尼亚大学（University of Catania）的弗朗切斯科·普廖洛（Francesco Priolo）和总部设在日内瓦的意法半导体公司（STMicroelectronics）的萨尔瓦托

本文作者

巴赫拉姆·贾拉利是电子工程学教授，就职于美国加利福尼亚大学洛杉矶分校的亨利·萨穆埃利工程与应用科学学院。他还是加利福尼亚科学中心的理事。贾拉利把大部分闲暇时间都留给了三个孩子，陪他们在加利福尼亚的南部海滩上玩耍，驾驶皮划艇和帆船。

本文译者

虞骏是一位文理兼修的科普翻译作者，毕业于中国科学技术大学，曾在中科院紫金山天文台从事天体物理研究工作，现为环球科学杂志社资深编辑。自创刊以来，他先后在《环球科学》翻译并撰文发表十余篇科普文章，内容涉及天文、物理、医学、法证科学等诸多领域。他想在这里感谢美国布朗大学的许竟鸣教授在本文翻译过程中提供的诸多帮助。

本文审校

冯衍是一位应用物理学家，2000年在南开大学获得凝聚态物理学博士学位，先后在中国科学院物理所、日本电气通信大学和欧洲南方天文台从事激光研究工作。在研究之余，他还对网络在科学研究方面的影响非常感兴趣，创办并维护格志（http://gezhi.org）——一个面向所有科学爱好者的社区网站。

雷·科法（Salvatore Coffa）对这种方法展开了研究，试图用它来改善硅的光学性能。科法的研究小组已经成功研制出一些硅基发光二极管（light-emitting diode，缩写为LED），它们能在室温下运行，发光效率与常见的、用砷化镓制作的LED不相上下。

意法半导体公司的硅基LED其实是金属－玻璃－半导体叠合成的“三明治”。在金属和半导体之间，一个稳定的电压驱使着电子从玻璃中穿过。在这个过程中，这些电子就会将玻璃中铒原子的电子泵浦到高能带，使它们发光。在这个特例中，纳米晶体中的量子限域起到了一个恰如其分的作用：增加玻璃的导电性，从而降低了产生电流所需的电压值。尽管这项技术非常有用，但是它输出的只是自发辐射产生的漫射光，而不是受激辐射产生的激光。不过意法半导体公司的研究人员深信，让掺铒的硅发出真正的激光只是个时间问题，而且不会太久。

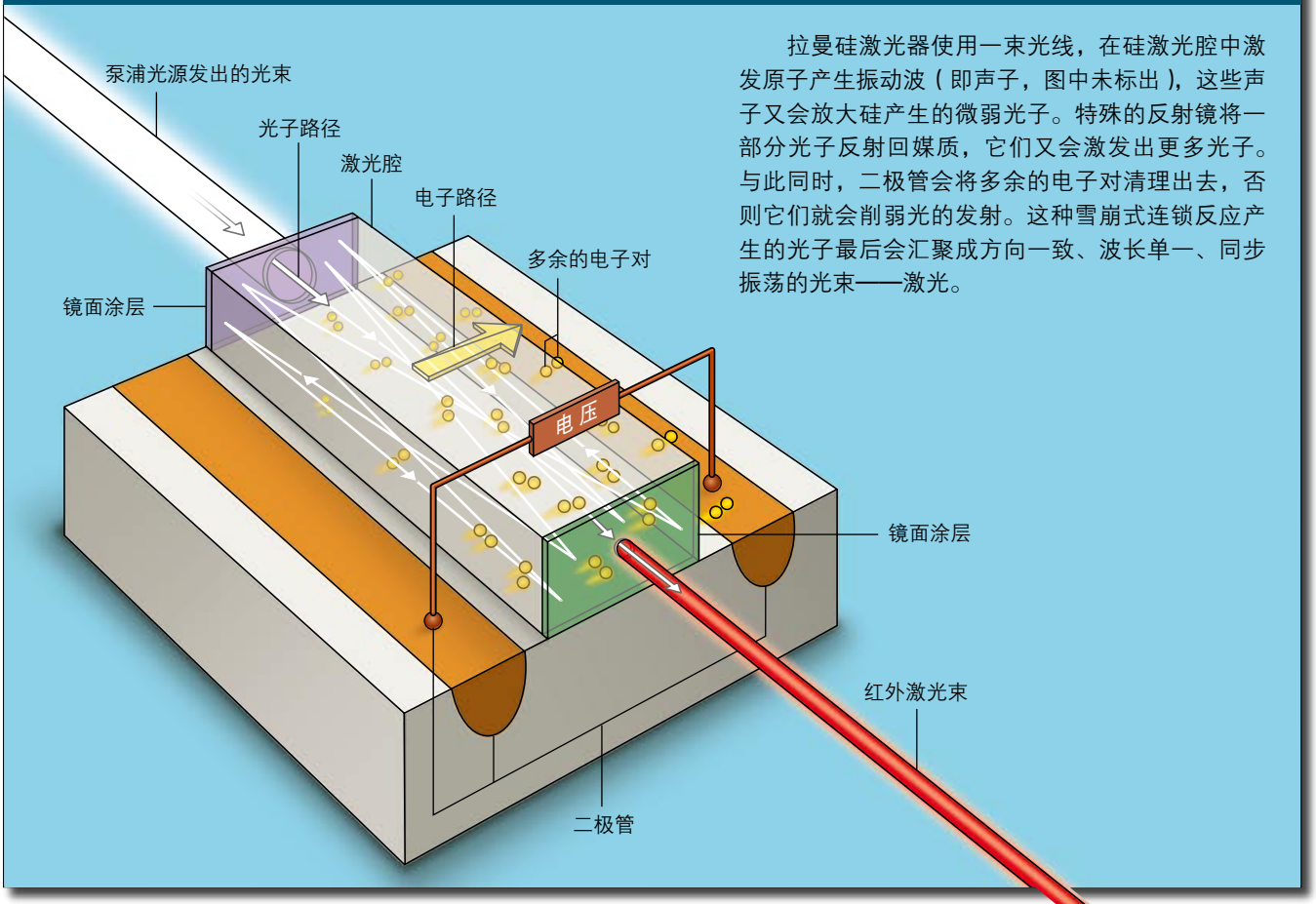
最近，美国布朗大学的许竟鸣（Jimmy Xu）领导的科研小组观察到，在–230℃的低温下，一片纳米结构硅材料发出了激光（参见第79页插图），不过对于实际应用来说，这个温度实在太低了。许竟鸣的科研小组先在一片硅薄膜的表面钻出密密麻麻的规则小孔，每个孔相距110纳米，然后用光来激励硅晶体，激光就是在这种情况下出现的。许竟鸣和他的小组把他们观察到的激光发射现象，归因于纳米结构硅晶体表面自然出现的晶格缺陷（lattice defect）。他们还将辐射增强现象，归因于电子的位置受到紧密限制而产生的电子动量的量子不确定性。这些微观结构打开了一扇激动人心的、通往纳米尺寸硅激光器的大门，不仅能够充分利用硅元素发射可见光激光的能力，还能将这种元素作为反射镜和滤镜的功能发挥得淋漓尽致，熟练地掌控它们发出的光线。这类设备也许将在未来的电信网络中发挥重要作用。

另辟蹊径

除了电子之外，光子还可以从声子中获取能量。利用光子与声子之间的相互作用，巧妙地避开硅晶体的弱点，科学家为硅激光的产生开辟了一条新的途径。

给半导体晶体中的电子提供能量，将它们泵浦到高能带，并不是放

拆解硅激光器



拉曼硅激光器使用一束光线，在硅激光腔中激发原子产生振动波（即声子，图中未标出），这些声子又会放大硅产生的微弱光子。特殊的反射镜将一部分光子反射回媒质，它们又会激发出更多光子。与此同时，二极管会将多余的电子对清理出去，否则它们就会削弱光的发射。这种雪崩式连锁反应产生的光子最后会汇聚成方向一致、波长单一、同步振荡的光束——激光。

大光线的唯一途径。研究人员还在追寻通往硅激光器的其他路径。比如，如果能给半导体晶体中的声子增加能量，一束微弱光线从晶格中穿过时，就能获得这些能量，从而实现放大；将一部分经过增强的光线再输回晶体之中，就能制成一个激光装置。

2002 年及 2003 年，在美国国防部高级研究项目局（Defense Advanced Research Projects Agency）的资助下，由我领导的、美国加利福尼亚大学洛杉矶分校的研究小组证明，利用这种技术确实能够让硅芯片产生并且放大光子。到了 2004 年，我们演示了世界上第一台硅激光器。与梅曼的第一台激光器一样，我们也用外置光源来泵浦我们的设备，所不同的是，我们的光源是为声子提供能量的。通常，光是一种效率较低的泵浦能源，不过令人吃惊的是，我们的硅激光器将泵浦能量转换为光的效率，几乎可以与今天的传统激光器相媲美。此后不久，我们就把这种激光设备置入了二极管中，成功地用电力实现了激光器的开关控制。

科学家将光与声子的相互作用称为拉曼效应（Raman effect）。20 世纪六七十年代，科学家曾经广泛利用这种效应，来探测包括硅在内的许多材料的物理性质。最近，工程师还借助这种效应，给光纤赋予了光放大器和激光器的功能。要实现这些功能，光纤必须长达好几千米，因此早期的研究人员没有意识到，这是制造硅激光芯片的一种可行方案。不过，我的研究小组注意到了一个被所有人忽略的事实：硅晶体中的拉曼效应，比玻璃光纤中的拉曼效应强 1 万倍。如此巨幅的强度提升完全归功于硅晶体中排列得井然有序的原子结构（这一回，硅的固有性质终于给激光的产生帮上了忙）。相比之下，光纤玻璃中原子的排列杂乱无章，因此拉曼效应总是不明显。

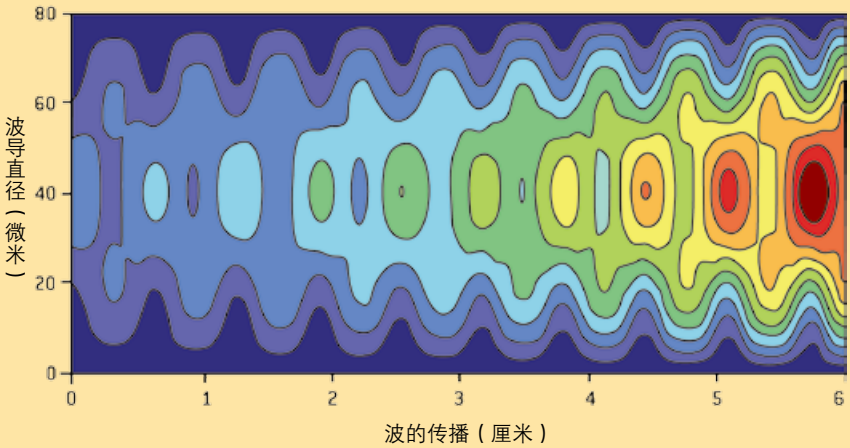
借助拉曼效应产生激光的设备被称为拉曼激光器，必须依靠外部光源为它提供泵浦。由于前面提到的自由载流子吸收问题，硅晶体高能带中的电子会降低发光效率。为了避免出现这种情况，我们选用了波长为 1,500 纳米的红外线来泵浦硅晶体。这种红外线光子的能量略低于硅能带间隙的能量，因此无法有效地将电子泵浦到高能带。不过，两个光子有时候会将它们的能量合二为一，将一个电子激发到高能带。虽然这种电子相当罕见，但仍然会“蚕食”系统的能量。

拉曼激光器并不是这种能量损失的唯一“受害者”。2006 年，美国康奈尔大学的亚历山大 · 加埃塔（Alexander Gaeta）和米沙尔 · 利普森（Michal Lipson）演示了一种颇具潜力的设备，将光与另一束更强的光混合在一起，就能实现光放大。这种放大器，以及将来以它为基础研制出来的激光器，都会跟拉曼激光器一样，深受上文提到的能量损失之苦。

我们的第一台硅激光器发出的是脉冲激光，不让电子有积聚和汲取系统能量的机会，从而避免了能量损失。要发出连续激光，则可以给激光器施加一个电场，把徘徊在硅晶体上的多余电子清除干净。中国香港大学的研究人员提出了这个构想，英特尔公司的荣海生（Haisheng Rong）及其同事在 2005 年将它变为了现实。最近的调查研究表明，这种方法起到的效果十分有限，因为硅晶体中电子移动的最高速度仅为光速的千分之一，大大限制了清除电子的效率。这种方法还

硅激光器图像放大器

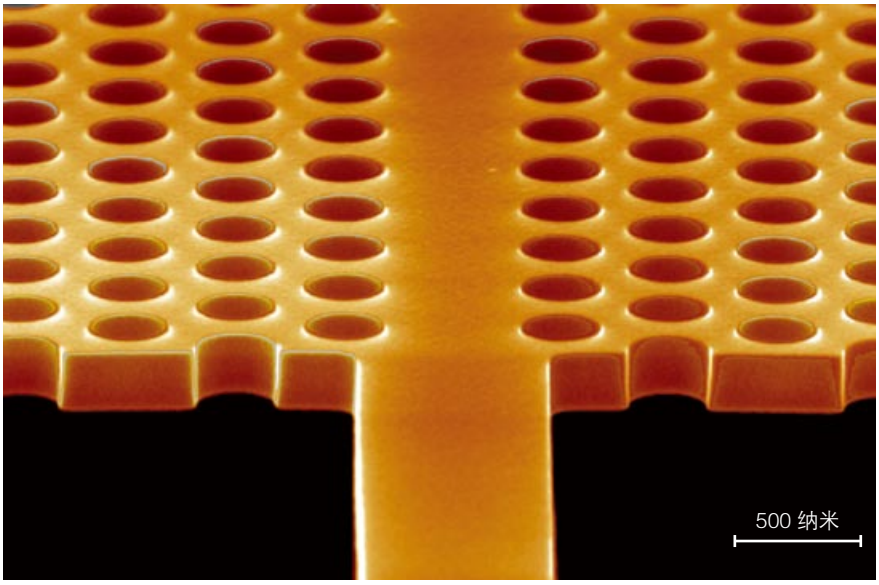
如果一根光纤（或波导）的横截面远远大于入射光的波长，那么随着光在光纤中传播，光中的任何图案都会循环经历合焦和失焦过程，这是光波在光纤边缘反射之后发生相长干涉（constructive interference）和相消干涉（destructive interference）的结果。这种聚焦效应与光放大效应结合在一起，就能在光沿着波导的传播过程中，同时对一幅图像进行聚焦和放大（图中的暖色，由左向右传播）。美国加利福尼亚大学洛杉矶分校和 Northrop Grumman 公司的研究人员正在联合开发一种设备，可以在光学图像穿越一块厚厚的硅波导时，利用拉曼效应（光子与声子的相互作用）对图像信号进行放大。这种图像放大器将能改善用于环境监测的激光遥测及成像系统的灵敏度。



需要巨大的电力作为后盾。幸运的是，我们找到了一些改善硅激光器效率的窍门：用质子轰击硅晶体，或在硅中掺入少量的铂，都会迫使电子更加迅速地回到低能带，减少自由载流子吸收的发生，降低宝贵的光子被无谓吸收的几率。

这些措施减少了高能带中电子的数目，最大程度地降低了它们对光的再吸收。但是，清除电子只解决了问题的一个方面。电子会在无意间吸收两个光子而被激发到高能带，此时这些设备仍然会损失泵浦能量。利用从太阳能电池领域借来的一个小技巧，我的研究小组在2006年证明，拉曼硅激光器可以将损失的泵浦能量采集起来产生电力。这些无意间出现的高能带电子可以在硅晶体中流动，从而形成电流。通过某种方式来安排这些电子的流动，我们可以使设备的电功率消耗（也就是电流与电压的乘积）变成负值——换句话说，激光器非但不消耗电能，反而会发电。（这并不是永动机，因为激光器的能量是由泵浦光源提供的。）采集的电能可以用来驱动同一块芯片上的电路。

我的研究小组后来证明，如果一开始就用波长长于2,300纳米的光作为泵浦光源的话，所有困难都会迎刃而解。这种光子的能量极低，即使一对光子同时作用于一个电子，总能量也不足以将它激发到对拉曼激光器毫无用处的高能带中。我们发现，在波长为2,300纳米~7,000纳米的红外线泵浦光的照射下，硅变成了的优良激光材料。（波长一旦超过7,000纳米，其他的不良效应又会出现。）现有的其他半导体激光器无法发出这种波长的激光，因此硅激光器技术的出现，无疑会推动一大批新技术应用的发展。硅还是发射超强激光束的理想材料，因为在所有的激光材料中，既拥有良好的热传导性，可以将多余热量及时传走，又在高强度光照下具有超强耐力，不至于遭受破坏的材料，非硅晶体莫属。



■美国布朗大学许竟鸣领导的研究小组，用一块类似上图所示的硅薄膜，在低温条件下产生了激光。这个小组使用的硅薄膜表面布满了纳米尺度的小孔，孔与孔的间隔仅为110纳米。电子被限制在硅表面的电子牢笼之中，从而导致了激光的产生。

科学家还开发出了另一种制造硅激光器的方法，看起来也颇有前途。这种“混合”技术的原理，是将少量的砷化镓或磷化铟添加到硅衬底的顶层。从传统上讲，从事硅材料研究的科学家对混合技术存在着抵触情绪，因为在硅中添加其他物质会改变它的电性能，因此这些物质都被视为污染物。不过，美国密歇根大学安阿伯分校和加利福尼亚大学圣芭芭拉分校的研究小组最近取得的成果却令人鼓舞，重新燃起了科学界对这种方法的兴趣。如果研究人员能够克服材料的不相容问题，这种方法也许可以为硅激光器的商业化提供另一条捷径。

科学家对硅激光器的执著追求终于有了回报。硅材料似乎已经摩拳擦掌，打算向传统激光材料发出强有力的挑战。这方面的进展将使电子学与光子学不可避免地融为一体。尽管现在预言新兴的光电产业最终将采用哪一种技术还为时过早，但硅激光器即将带来的新技术应用，很可能会彻底改变我们的日常生活。SA

扩展阅读

Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein. Abraham Pais. Oxford University Press, 1982.

The Incredible Shrinking Transistor. Yuan Taur in IEEE Spectrum, Vol. 36, No. 7, pages 25–29; July 1999.

Demonstration of a Silicon Raman Laser. Ozdal Boyraz and Bahram Jalali in Optics Express, Vol. 12, No. 21, pages 5269–5273; October 2004.

Computing at the Speed of Light. W. Wayt Gibbs in Scientific American, Vol. 291, No. 5, pages 80–87; November 2004.

Optical Gain and Stimulated Emission in Periodic Nanopatterned Crystalline Silicon. S. G. Cloutier, P. A. Kossyrev and J. Xu in Nature Materials, Vol. 4, No. 12, pages 887–891; December 2005.

Optical Interconnects: The Silicon Approach. Edited by L. Pavesi and G. Guillot. Springer Series in Optical Sciences. Springer, 2006.

Silicon Photonics: State of the Art. Graham Reed. John Wiley & Sons, 2007.

只有严守振动的频率，才能跟得上时间的脚步，所以钟表选择了石英。今天，石英晶体的舞台早已拓宽，但它执著、稳定的性格依然如故。

执著的石英

——石英技术史话(下)

撰文 崔灿
审校 王骥

石英晶体的特定切型拥有很高的频率稳定性，钟表和各种电器基本都是利用石英晶体的逆压电性（如果石英受到电压刺激，就会产生一定的机械应力和形变），而在传感器上大多是利用正压电性（当石英受到机械压力发生形变，晶体内部的电荷分布就会改变，产生一个电压）。

灵敏的传感器

20 世纪 60 年代，石英钟表开始流行，同时，人们也开始利用石英晶体的压电特性制造重量传感器，这也是石英晶体主要的应用方向之一。不过，普通人的一生中可能拥有十几只石英表，却从来也没见过这种仪器，因为只有研究所和个别行业才需要这种可以精确到纳克（十亿分之一克）的“天平”。

到 1964 年，人们才发现，其实这种“测重仪”离普通人的生活并不远。当时，小威廉姆·金（William H. King, Jr.）还在美国埃克森石油公司旗下的埃克森研究和工程公司任职。他在美国《分析化学》杂志上发表文章，报道了当时石英晶体微天平（Quartz Crystal Microbalance，QCM）的进展（不过，当时还没有提出这个名称）。实际上，只要根据需要，为石英晶体镀上不同的涂层，就能有选择性地吸附被测气体分子，从而测量气体中某一成分的浓度。小威廉姆·金宣称，只要这一成分的浓度达到 0.1ppm（浓度单位，代表百万分之一），在他们的传感器面前就无所遁形。最初埃克森公司大概是为了检测易燃易爆气体才发起这项研究的，因为小威廉姆·金特别提到，他们的发明能从碳氢气体中检测到二甲苯（在石油公司里比较常见，与空气混合后容易引起爆炸）。

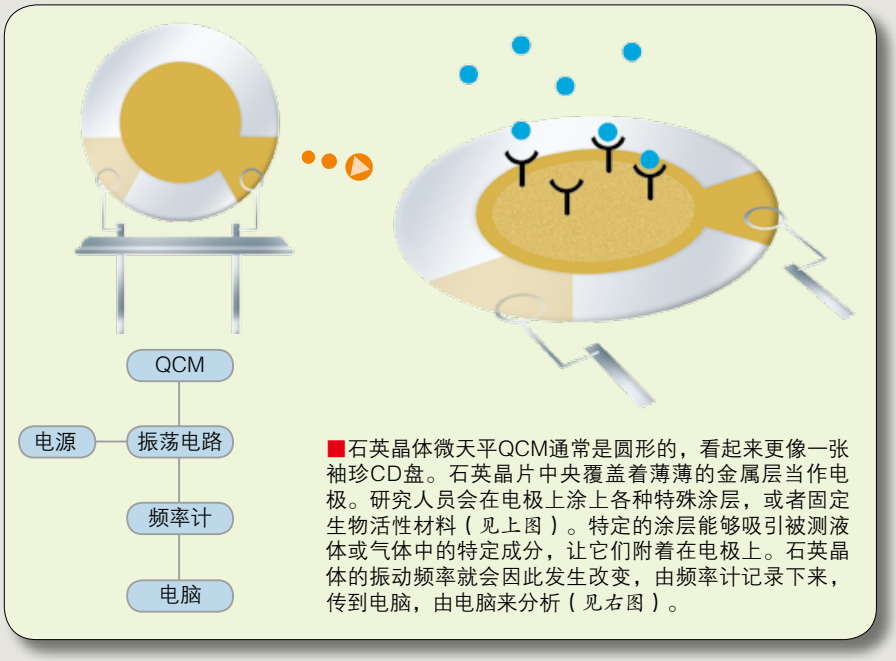
QCM 的原理要追溯到德国科学家乔治·沙布雷（George Sauerbrey）1959 年的发现。沙布雷提出，如果在晶体的表面上镀一层膜，晶体的振动频率就会改变，而且薄膜的厚度和密度能决定晶体振动频率的减少量，他还列出了石英晶体振动频率与薄膜厚度和密度的关系，也就是“沙布雷公式”。

到 1983 年，美国化学传感器专家吉尔鲍特（G.G.Guilbault）在石英晶体上涂了薄薄一层甲醛脱氢酶，测试空气中的甲醛含量（甲醛是装修中常见的有毒气体，对人体，尤其是对小孩和孕妇的危害特别大）。吉尔鲍特一向钟情于石英晶体，一直尝试着用石英晶片来测试各种气相、液相。在此之前的气相分析中，传感器的表面本来没有尝试过固定生物活性材料，在此之后，QCM 与生物传感器有了联系。

相比气体，液体的密度更大，振动的阻力也更大，所以石英晶体很难实现压电谐振，所以刚开始时，QCM 大多用于检测气相。虽然小威廉姆·金雄心勃勃，想把 QCM 用在液相测试上，但直到 1980 年 – 1982 年间，经过日本信州大学的野村俊明和美国科纳什独立又相辅相成的研究，才成功地让石英晶体在液相中完成谐振。20 世纪 80 年代中期，QCM 发展为电化学石英晶体微天平 (EQCM)，这样既能获得电化学信息，又能得到质量信息。而最近的研究表明，当液体膜足够薄（如在纳米量级），也有

可能实现较好的谐振，所以以后可能会用石英晶体来制作纳米传感器。

EQCM 的发展只能用“日新月异”来形容，在石英表面固定不同的涂层或生物活性材料，功能就完全不同。EQCM 现在主攻生物化学领域，不仅应用于简单的浓度测定，而且深入到反应机理、化学反应动力学等方面的研究。利用 EQCM，能够监测饭菜中的葡萄球菌肠毒素是否超标，避免食物中毒，以后还可能会制造出能够品尝五味的人工舌头，倾听音乐的人工耳朵……过去只用于学术研究中的精密传感器，往后会更贴近我们的日常生活。



■石英晶体微天平QCM通常是圆形的，看起来更像一张袖珍CD盘。石英晶片中央覆盖着薄薄的金属层当作电极。研究人员会在电极上涂上各种特殊涂层，或者固定生物活性材料（见上图）。特定的涂层能够吸引被测液体或气体中的特定成分，让它们附着在电极上。石英晶体的振动频率就会因此发生改变，由频率计记录下来，传到电脑，由电脑来分析（见右图）。

从电子元件到打印机

你可以没见过 QCM，没接触过声纳，但你家里的石英晶体肯定不止 10 块：彩电、VCD、汽车、收音机多少都装有石英晶振，每部电话里通常有 3 种石英晶体产品，个人电脑、打印机、宽带设备也不例外，基本上，所有数字产品都需要它。现在应用最广的应该是石英晶振，作为电器内的振荡源，一丝不苟的振荡频率为电器其他控件提供频率标准，让需要协调动作的各个器件趋于同步。

日本是全世界石英元件最大的供应国，在技术上比较成熟。提到这一点，就要说到当年掀起石英表普及革命的日本精工集团。也许是因为石英表在精工历史上的独特地位，所以精工爱普生也怀着这样的情结，似乎总是在想，如何挖掘石英晶体的潜能，而石英晶体的表现也没有让他们失望过。

爱普生是微压电打印技术的创始人（目前还有其他几家制造商也在采用这种技术）。原理其实并不复杂：打印机通过发送电脉冲信号，控制压电陶瓷的形变，把墨水挤出喷嘴，还能保证喷嘴口的液面稳定，不至于在挤压前后，溅出一些不必要的墨点，而且不需要加热，就不用担心打印的材料会发生化学变化，影响原有功效，因此，可以将打印的墨水换成液态的功能材料，比如说金属、陶瓷和其他半导体材料，将纸张、布匹换成各种电路板，直接按照需要的电路图来打印，实际上就完成了为电子元件布线的功能。2004 年，爱普生用这种技术制造出世界上第一块 20 层层压电路基板：用含银微粒子的材料打印电路，然后喷一层绝缘层，再打印电路——如此循环往复，20 层加起来也没有超过 200 微米厚。

对 LCD 投影仪而言，石英也是很重要的原料。现在的 LCD 投影仪所用的液晶面板可以采用 HTPS（High Temperature Poly-Silicon，高温多晶硅）。在面板的制造过程中，需要高温退火，温度超过 1000℃。普通玻璃无法承受，只有石英玻璃做成的基板才能胜任。虽然石英玻璃比普通玻璃的价格高，但是，制造液晶面板的工艺更轻松，更便于把握。2005 年 4 月，爱普生还利用喷墨打印的方法喷涂“高温多晶硅 TFT 液晶面板”所需的定向膜。液晶分子本来是夹在两层玻璃之间的，而玻璃的内侧面都镀有定向膜。在此之前，定向膜是一层层附上去，仔细打磨，把液晶分子都夹在其中，定向膜能让液晶分子按一定的方向排列，不过现在可以直接打印，进一步降低定向膜的厚度，让液晶反应更迅速。另外，液晶显示屏的彩色滤光膜也可以打印。

随着基于数字技术的智能系统和工具的快速发展，石英晶体的应用还在不断开辟新的领域，虽然原子钟的诞生已经挤掉了石英钟在天文台的位置，新一代的振荡器已经在后面追赶，但可以肯定我们未来的数字生活，石英晶体绝不会缺席。SA

本文审校

王骥，1996 年获得美国普林斯顿大学土木工程博士学位，后来一直致力于研究石英晶体和压电声波器件。1995 年到 1999 年间，王骥在爱普生帕拉阿图实验室担任高级研究员，由他研究开发的石英晶体设计软件已用于产品设计，并获得石英晶体器件方面的三项美国专利。2002 年起聘为宁波大学工程力学钱江学者特聘教授。

器官移植教父

撰文 玛格丽特·霍洛韦（Marguerite Holloway）
翻译 贾明月

斯达泽首创性地在器官移植中使用了抗排斥药物，不过他希望微嵌合的现象可以为这一步骤画上句号。

两条狗蹦跳着跑进了办公室，托马斯·E·斯达泽（Thomas E.Starzl）也跟着走了进去。在宠物们开始打盹儿，助手将各种资料和信函呈递上来之后，斯达泽开始了一天的工作。

80岁的斯达泽是美国匹兹堡大学的移植外科专家。在匹兹堡大学，他拥有一个以自己名字命名的研究所。过去半个世纪，大量的研究成果在斯达泽的手下诞生，超凡的成就赋予了他浓厚的传奇色彩。他是第一个为病人移植肝脏的科学家，肾脏移植也因为他发明的新方法而变得切实可行。不仅如此，斯达泽还是首批尝试异种移植的科学家。上世纪60年代，他曾将狒狒的肾脏植入6位病人体内，但不幸的是，病人最终还是没能逃脱死亡的噩运。

托马斯·斯达泽：改进器官移植手术

◎斯达泽倡导将免疫耐受作为移植手术新策略。
◎免疫抑制剂可以延长病人的生命，但也增加了患其他疾病的几率，比如感染、癌症、高血压等。
◎“他是一个牛仔，一个了不起的大人物。在开拓性的领域，我们需要这样的人。”——尼古拉斯·L·提尔内，哈佛大学医学院。

最重要的是，他开发了不少药物，也发明了不少药物联合使用的方法，用于抑制免疫系统，避免器官排斥。几十年前，他就提倡广泛使用免疫抑制剂，也正是由于这些药物的使用，器官移植手术的数量年年见长。来自美国移植器官共享网络联盟（United Network for Organ Sharing）的数据显示，在2005年，美国共进行肾脏、肝脏、胰腺、心脏、肺脏以及肠移植手术28,107例。然而，尽管抑制剂“强迫”免疫系统接受了移植器官，延续了病人的生命，却弱化了免疫系统，削弱了病人的抵抗力，甚至会有致命的副作用，因为面对病毒或癌症的挑衅时，免疫系统将会不战而败。尽管如此，移植专家还是认为，免疫抑制剂必不可少：一旦停止服用，免疫系统就会立即复原，强烈排斥外来器官。

1992年，斯达泽注意到一些奇怪的现象，促使他重新思考了免疫抑制剂的使用方式。他回访了许多自己曾医治过的病人，包括在二三十年前就做过手术的病人，发现有些人很久以前就停止服

用抑制剂，却没有出现任何不妥的现象。于是，斯达泽对这部分病人进行检查，希望找到一些普遍特征。结果，在这些病人的多个器官以及血液中，都检测到了器官捐赠者（即供体）的细胞。

这种现象叫做微嵌合（microchimerism），意思是一小部分外源细胞与母体细胞共存于一体。最常见的微嵌合现像发生在双胞胎之间和母子之间，因为在子宫中很容易进行细胞交换（共存的细胞通常相安无事，不过也有证据表明微嵌合可能引发自体免疫疾病）。

对于移植外科医生而言，微嵌合现象就成了器官移植能否成功的关键。实质上，斯达泽提出的假说认为，人体不能一下子接受移植器官，必须循序渐进，只有先将少量供体细胞视为“自己人”后，才有可能接受大型的器官移植手术。很早以前，医生们就在接受骨髓移植的患者身上发现了大量的供体细胞，但他们没有意识到这一现象的医学价值。斯达泽认为，至少在今天看来，病人体内的微嵌合证据，说明器官移植有望摆脱必须依赖药物的境地。

长期以来，斯达泽一直是免疫抑制剂的支持者，因而一些科学家认为，他的新思路是对自己的一种颠覆。但斯达泽坚持认为并不是这样。他以自己写于1963年的一篇文章为例，内容涉及病人对移植肾脏的耐受性。在那篇文章里面，他已经预见了现在这种思路，只是在那个年代，这一预见超出了当时的科学认识水平，没有人意识到它将改变移植医学。斯达泽说：“当年的预见就是今天这个新思路的基础，也是我一直追求的东西。”

在匹兹堡，斯达泽的同事们已经把微嵌合融入到了移植手术中。在进行手术的前3周，他们就给病人服用强力免疫抑制剂，接着注入少量供体细胞。此后，病人会持续使用低剂量的抑制剂，直至手术开始。斯达泽解释说：“这既是在处理器官接受者（受体）的细胞，防止它们引起宿主抗移植物反应（host-versus-graft response），同时也是在处理供体细胞，因为某些细胞是有免疫活性的，这样的处理是为了不让它们排斥器官接受者。”手术后，医生会开出低于正常剂量的处方，逐步降低病人对药物的依赖性，直至停止服药。据斯达泽的同事，匹兹堡大学的罗恩·夏皮罗（Ron Shapiro）说，很多移植中心都在使用同样的手术方案，包括得克萨斯州加尔维斯敦市的一个中心和欧洲的某些中心。美国斯坦福大学、哈佛大学，还有很多世界其他地方的科学家们也在研究微嵌合和免疫耐受背后的生理学机制。

不过在器官移植领域，仍有不少人认为，将微嵌合现象视作免疫耐受的原因还没有充分的依据。哈佛大学医学院的弗里茨·H·巴赫（Fritz H.Bach）的话就很有代表性：“关于微嵌合的想法和数据从未得到证实，我觉得很多人都不会相信免疫耐受建立在微嵌合的基础上。”

美国明尼苏达大学的大卫·E·R·萨瑟兰德（David E.R. Sutherland）也持同样的观点：“斯达泽的假说尚不足为信，因为没有确切的证据。”萨瑟兰德认为，微嵌合是免疫耐受的结果而非原因。他说：“有些人就算不服用抑制剂也不会产生排斥反应，这很难理解，我们也不知道原因，可惜这个过程不能通过试验重复发生。”

即使争议四起，斯达泽仍然会坚持己见，这一点让他身上的传奇色彩更加浓厚，正如他的同事所说，他不会因为缺少证据而妥协。在上世纪60年代的异种移植实验中，斯达泽的这种性格体现得淋漓尽致，虽然那次试验失败了，还让他备受批评。到了上世纪80年代，他又开始公开支持一种叫做FK506的药物（他克莫司），而在某些动物试验中，他克莫司被证实为剧毒性物质。美国移植协会主席、《移植：从神话到现实》（*Transplant: From Myth to Reality*）一书的作者、哈佛大学医学院的尼古拉斯·L·提尔内（Nicholas L. Tilney）说：“尽管这种药物的毒性最初造成了不少问题，但汤姆没有放弃，不断尝试，最后终于证明自己是对的。”1994年，美国食品与药物管理局批准他克莫司上市销售。现在，在80%的肾脏移植和90%的肝脏及胰腺移植中，都会用到这种药物。

提尔内说：“斯达泽拓宽了这一领域的界线。这些年来，他提出了不少观点，其中很多被证明是正确的，也有不少是错的。他就是喜欢颠覆传统。”

不管微嵌合是不是免疫耐受的原因，毋庸置疑的是，斯达泽对器官移植领域的影响极其深远，而且这种影响还将继续下去。更让人惊讶的是，他还是一位雄辩家，在表达自己的观点时极具说服力。萨瑟兰德将他和陀思妥耶夫斯基相提并论：“他能将各种因素有机地结合起来，埋头做事，勇往直前，推动整个领域不断向前发展。”

夏皮罗也赞同这种说法。他说：“所有人都认为他是疯子，但当他转向下一个目标时，他以前说过的话、做过的事就成了金科玉律。大家都知道斯达泽非常聪明，不过他比你想象的还要棒。” SA

名噪一时的两轮电动踏板车推出了第二代产品，
它能真正“走”进我们的日常生活吗?

踩着电动踏板上街去

撰文 史蒂芬·阿什利（Steven Ashley）
翻译 高倩

2001 年，工程师迪安·卡门（Dean Kamen）带着他发明的赛格威人类运输机（Segway Human Transporter）登场亮相。他把这种东西叫做“Ginger”，又称它为“IT”，不过没人知道这个代号的来历。当时，靠着它新颖的驾驶方式，这种只有两个轮子、自动调节平衡的代步工具，着实出了一阵风头。不过与报纸杂志上铺天盖地的宣传相比，它的销量可就相形见绌了：到目前为止，全世界的人行道、步行街和自行车道上，总共也只能看到 24,000 辆赛格威。不过，这种新颖的电动踏板车倒是吸引了一大批“粉丝”。

最近，赛格威公司推出了第二代产品——赛格威个人运输机（Segway Personal Transporter），将公众的注意力又拉了回来。第二代赛格威分为 i2 和 x2 两种机型，分别适用于城市和郊区的路面情况。它究竟改进了哪些地方，足以在被汽车、摩托车和自行车占据的街道上，挤出一片属于自己的地盘呢？为了回答这个问题，我决定亲身体验一把——

“就像上梯子一样踩上去，”埃德·曾（Ed Tsang）说，他是美国新泽西州巴斯金里奇市（Basking Ridge）的赛格威销售商。这时，他已经在门前满是落叶的停车场上，为我的“赛格威体验之旅”扫出了一片空地。乍一看，我面前的这辆“运输机”就像老式的割草机，不过机器的下端不是旋转式刀片，而是一个下置式踏板。仔细打量一番后，我发现新款赛格威比最初的那款要轻巧一些，不过外观变化不大。

伸手握住 T 形扶手，我小心翼翼地踩上踏板（就像怕它会割到脚一样），然后稳了稳重心，终于“骑”上了这辆“交通工具”。埃德在一旁不厌其烦地指导，不过他的声音仿佛离我很远，时断时续：“放松……别向下看，向前看……站直，膝盖弯一点……不要前后晃……”

第一次站在赛格威上，你绝对会像我一样胆战心惊，生怕它会突然翻倒。不过站上去摇晃几下之后，我发现其实很简单，只要“相信这台机器”就行了。赛格威上装有陀螺稳定装置，会根据你身体的移动自行调节重心。只要站直身子，稍稍前倾，脚下的 i2 型赛格威就载着我以正常的步行速度，无声地向前滑行。毫无疑问，赛格威对人体重心的灵敏反应，使驾乘过程充满了乐趣，就像经销商说的那样，“赛格威总是会让你大吃一惊”。

赛格威公司的技术总监道格·菲尔德（Doug Field）介绍说，要了解赛格威为什么会带来如此独特的驾驶体验，就得先了解一下它的工作原理。

赛格威采用了实时感官反馈技术，拥有一套自动平衡调节系统，两个带有微处理器的控制板互为后备以确保安全，还配备了 5 台陀螺仪和一对倾斜侦测加速传感器。在驾驶时，加速传感器每秒会对两个轮子的状态进行 100 次自检，然后系统会控制电动马达的转速，不论驾驶者身体的重心如何晃动，轮子都会及时调整位置，稳稳地支撑重心，从而巧妙地维持整体平衡。当你的身体稍向前倾，赛格威的轮子就会向前滚动一点，避免你向前倾倒；如果身体后仰，赛格威也会立即作出调整，自动保持平衡。这让使用者很容易找到适合自己的踩踏位置。在向前行驶时，只要身子稍稍向后一靠，或撅一撅屁股，它就会稳稳地停下。与此同时，赛格威的再生制动系统（regenerative braking system）还会将轮子的旋转动能转化为电能，贮存在电池之中。

菲尔德透露，这种独特的操控方式借鉴了人类行走的原理。他解释说，人类的行走可以拆分成站立和行走两种状态，“行走其实就是一种受控的摔倒过程”。具体来说，每迈出一步，我们内耳中的前庭平衡器官就会通知大脑，自己已经失去了平衡，大脑立即发出指令，让你伸出另一只脚，稳住将要倾倒的身体。工程师设计赛格威的思路，就是要“模拟人类的行走原理，把轮子、电机和电池‘嫁接’到人的身上，扩展人类的‘行走’能力，因为行走非常适合我们的生活环境”。

就连操控方式，新款赛格威也在模拟人类行走。在旧款赛格威上，驾驶者想要转向，就必须向前或向后旋转 T 形扶手左侧的手柄，操作起来就像摩托车上控制油门的把手；而在新款赛格威上，工程师安装了一套被称为“靠舵”（lean-steer）的装置，驾驶者只须紧握扶手倾斜身体，就可以随心所欲地转弯，就像障碍滑雪选手侧倾着绕开障碍物一样。把扶手一推到底，赛格威还可以一个轮子正转，另一个轮子反转，实现原地大回旋。

除了操控方式的改进，新款赛格威还配备了更大的锂电池组，能够驱动两种型号的赛格威以 12.5 英里（约 20 千米）的最高时速行驶。充满电后，i2 型可以连续行驶 16~24 英里（约合 26~39 千米），x2 型则能行驶 10~12 英里（约合 16~19 千米，与旧款差不多）。新款赛格威还配备了一个无线遥控装置——infokey，这个类似怀表的小玩意儿非常有用，它的显示屏上能够显示时速和已行驶里程，还具备了远程启动、限制最高时速、开关防盗锁和报警系统的功能。

与大部分新产品一样，赛格威的未来并非一帆风顺。例如，将赛格威用作高尔夫球车似乎是个不错的市场定位，但这种两个轮子的电动车却没能受到高尔夫球手的青睐，理由很简单——几乎没有人会驾驶它，而普通的四轮高尔夫球车却人人会开。

美国加利福尼亚州长滩市的赛格威负责人巴里·富尔顿（Barry Fulton）介绍说，目前赛格威的用户主要分为三类。第一类是城里的上班族，他们上下班的路途较短，选择赛格威可以省去开车和停车的烦恼；第二类则是休闲一族，他们开赛格威纯粹是为了好玩。这类人多为“55~75 岁的富有男士，就想看着孩子们骑着赛格威在他的游船码头上穿行”。一些需要代步工具的游客也被归到此类，他们会花 99 美元一天的价格，从富尔顿这里租一辆赛格威，开着它游览长滩的海岸风光，或者去看看“玛利女王”号这样的名胜。

对于在机场这样占地广阔的公共设施或大型企业执勤的保安人员来说，赛格威是为他们量身打造的交通工具，不仅能够扩大巡逻的范围，还可以扩展视野。

赛格威的第三类用户则是“商业”客户，包括警察局、保安公司、仓库和其他占地面积巨大的公司企业。富尔顿的一个客户就用赛格威给 85 辆货车上货，可以覆盖方圆 7 英亩（约合 2.8 万平方米）的停车场。在美国中西部地区，一家保安公司给一组保安人员配备了赛格威，他们负责为一家占地 235 英亩（约 95 万平方米）的电信公司提供保安服务。有了赛格威，一位保安人员可以负责更多地方，需要的保安人数就减少了。另外，对于那些年纪较大的保安，赛格威也延长了他们的工作年限。负责人说，骑上赛格威之后，保安人员在人群中鹤立鸡群，不但视野更加开阔，求助者也更容易找到他们。

尽管技术上有了改进，公众的熟悉程度也有所提高，但赛格威仍然销量不大。对于这个问题，销售商和使用者的观点大体相同。赛格威目前的售价高达 4,000~5,000 美元一辆，主要是因为电池成本过高，只有真正的发烧友才舍得掏钱购买。正如一位观察家所说：“大部分潜在购买者只是将它当作代步工具，5,000 美元的价格实在说不上物有所值。”如果将售价降低一半，销量一定会飙升，但目前看来，赛格威上使用的电池组短期内降价的可能性不大。

虽然驾驶赛格威的感觉不错，但难免会让人产生不实用的感觉。不过，回想当年，塑料飞盘玩具刚出现的时候，销量也不好，现在却成了家中必备的玩具。也许，有一天赛格威也会成为“居家必备”。SA

图解卫星广播

撰文 马克·菲谢蒂（Mark Fischetti）
翻译 詹浩

卫星广播可以同时将 100 套节目，比如音乐、综艺节目或者体育比赛，传送到每个角落，供人们自由选择。你可能正在享受音乐，而你的邻居则在收听体育比赛，没有签订接收协议的人，则无法接收到任何节目。无线广播不仅覆盖全国，还能定向传送到付费用户的接收器，这是如何做到的呢？

目前，美国有 3 家公司提供卫星广播服务，分别是覆盖美国的 XM 卫星广播公司和天狼星卫星广播公司，以及覆盖亚、非、欧的世广公司（WorldSpace）。XM 公司使用两颗地球同步通信卫星，加上分布于城市周围的大约 800 台小功率地面中继器来传送节目，将信号传送到任何被高层建筑阻挡、无法直接接收卫星信号的地方。天狼星公司拥有 3 颗卫星，它们运行在大倾角椭圆轨道上，同时还拥有大约 100 台大功率中继器，每台中继器负责为一个大城市传送信号。丹·戈贝尔（Dan Goebel）说，以上两种配置均能提供稳定的服务。他是美国喷气推进实验室的资深科学家，曾设计过地面中继器的放大器。

不过，戈贝尔指出，用户的接收器“才是整个系统中最富创新性的部分”。不管接收器是随身携带还是安装在汽车上，它们的天线都能接收到某一公司所有卫星和中继器传送的信号。对于接收到的信号，接收器内部的处理器会进行抽样检查，挑选最强的信号播放出来。这个检查、挑选新信号的过程会不断重复下去。

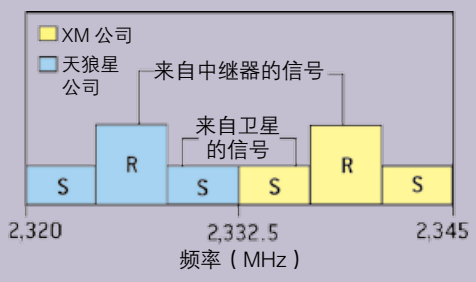
天狼星公司资深的技术副总裁特里·史密斯（Terry Smith）介绍说，要在任何时候将信号覆盖到任何地方，必须做好 3 个层次的分集。一个是空间分集，“因为即使某一颗卫星或某一个中继器无法将信号送达收听者，但总有另一颗卫星或中继器能将信号送达”。卫星和中继器发出的信号波长稍有差异，这样就会形成频率分集，接收器能从中挑选出最佳信号。信号发送也稍有延迟，以便产生时间分集——由此产生的信号重叠可以弥补短暂的信号缺失。

理论上，接收器可以接收到某个广播公司发送的所有频道，不过只有用户向广播公司付费后，才能欣赏到精彩的节目。当他们付费签订接收协议时，公司会提供一个专用账号，该公司的卫星也会发送一个激活密码。将账号和密码输入接收器后，接收器就能接受到这个公司的所有频道了。由于普通接收器没有专用账号，因此无法接收这些节目。 SA

XM 公司的卫星

中继器转播一颗卫星发送来的信号。为了解决障碍物对信号的阻挡和干扰问题，XM 公司在市区设立一些小型中继器，每台中继器提供一个 50W 到 100W 的信号。天狼星公司一般在市区单独设置一台大型中继器，提供 400W 到 2000W 的信号，覆盖整个城市。

接收器不断地检测来自卫星和中继器的所有信号，然后挑选出最强的信号播放出来。



XM 公司和天狼星公司的卫星的播放频率都处于 S 波段（1,550 ~ 5,200 兆赫）。每家公司会将分配到的频谱分成 3 段，每段 4 兆赫（包含 1,000 个频率）。两端的频段分配给卫星使用，每颗卫星都能利用这些频率，传送 100 个频道的节目；中间的频段则分配给中继器使用。利用频谱扩展技术，接收器将这些频率重组成一个个频道。世广公司的播放频率处于 L 波段，频率范围为 1,467 兆赫到 1,492 兆赫。

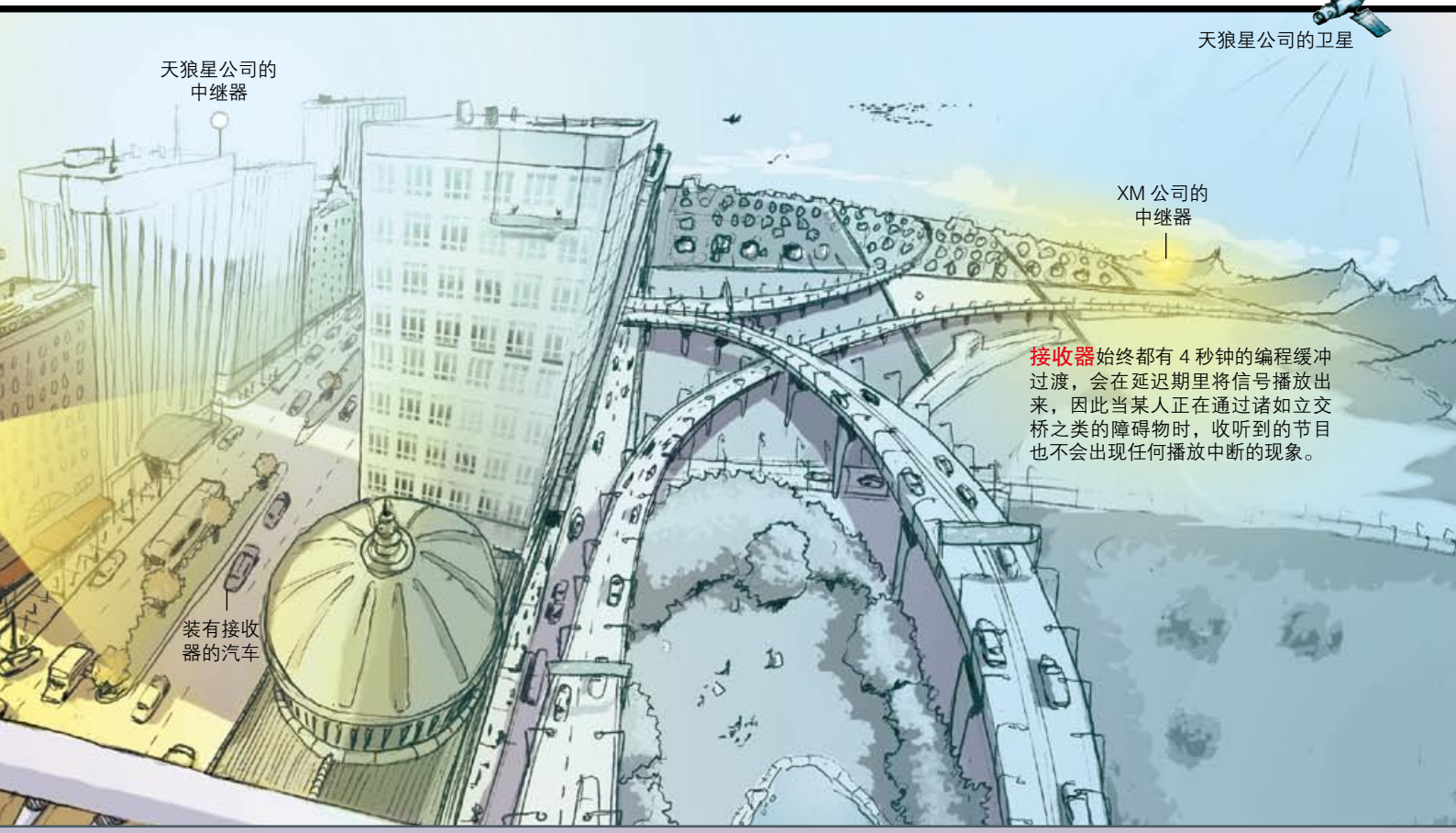
地球同步卫星固定在赤道上空，播送 XM 公司的全套频道，卫星发射的无线电定向传送到美国大陆，波束与水平面成 30 到 40 度的倾角。天狼星无线电广播公司使用 3 颗处于大倾角椭圆轨道上的卫星，“视角”大于 60 度；实际上，每颗卫星的航线投影到地面上都是一个 8 字形（虚线），它们会在北美洲上空运行大约 16 个小时，始终有两颗卫星处于播放状态。世广公司拥有两颗地球同步卫星，每颗投射出 3 股强聚焦点波束，每一股为它覆盖的区域传送不同的节目。

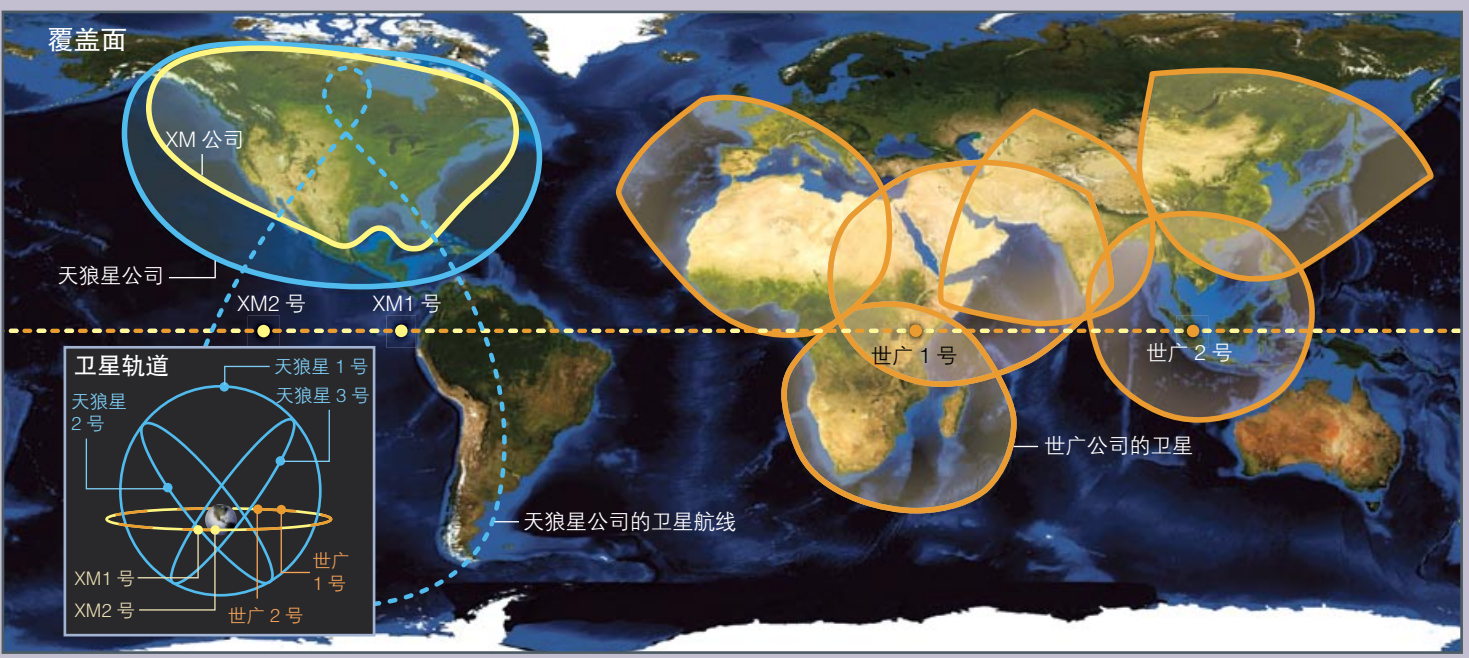
你知道吗？

◆**压缩：**将某一指定频道载送的声音，以更少的数据比特加以描述，广播公司就能在自己拥有的那部分频谱中，压入更多的频道（或优质音频），而用户的接收器则不用做任何改动。5 年前，天狼星公司和 XM 公司大约能为用户提供 60 个频道。由于采用了先进的压缩技术，从播音室到卫星都对节目进行了压缩，因此现在能够提供的频道数量已提升到 100 多个，甚至还能传送当地交通路况信息。为了设计出能节省更多空间的压缩技术，业界一直在研究人类听觉系统和大脑感知声音的模式。

◆**消音：**天狼星公司的播音室设在曼哈顿区一座摩天大楼的 36 楼里。这一层的混凝土楼板浇注在橡皮囊上，皮囊充满气后，就将楼板与大楼的梁架隔开。有了橡皮囊，交通噪音、装修时的电钻声等都无法进入播音室，这就保证了上传至卫星的信号中不会夹杂任何噪声。另外，噪音还会耗用信号比特数量，由于它的本质是随机的、不确定的，因而很难加以压缩。

◆**电离：**为了抵消来自太阳和月亮的引力影响，许多广播卫星和电视卫星上的离子推进系统每天都要点火两次，每次长达 1 小时，使它们能够稳定地运行在自身轨道上。据丹·戈贝尔介绍，目前有 30 多颗通信卫星使用了离子推进系统，从而大大降低了卫星携带的燃料量（仅为普通化学燃料卫星的 1 / 10）。





责任编辑：虞骏 / advice@sciam.cn

分蛋糕的学问

撰文 史蒂夫·米尔斯基（Steve Mirsky）
翻译 姬十三

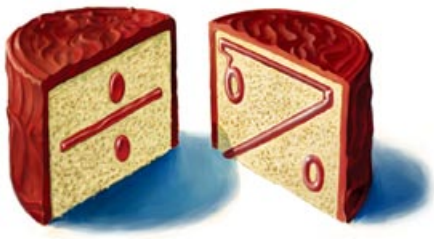
在梅尔·布鲁克斯（mel brooks）的电影《制片人》[①]中，马克斯·比亚里斯托克（Max Bialystock）和利奥·布卢姆（Leo Bloom）炮制了百老汇音乐剧《希特勒的春天》，并合谋套取25,000%的利润。（安然事件[②]是这部片子的现实版。）在剧中，两位主角曾有过片刻的反省，一方问道："一部音乐剧杂七杂八加在一起，可以卖掉百分之多少？"另一人轻轻地回答："任何东西，你只能卖出百分之百。"直到最近，我终于领悟到这种说法并非事实。

一个数学家、一个政治学家和一个经济学家共聚在酒吧。等等，不对，应该是一个数学家、一个政治学家和一个经济学家最近合写了篇论文。别吃惊，这是真的。他们指出，在特定情况下，两个人在分完某样东西以后，都会觉得自己得到的那份比较多。当然，这可不是魔术师用镜子和烟雾制造出来的幻象。

这篇论文刊登在《美国数学学会通报》的2006年12月刊上，标题是《切蛋糕的更好方法》。这绝不是研习磨刀技术，它真正论及的是，在切分东西时，如何最大限度地满足各方的需求——对于一场生日聚会而言，各方就是会分享蛋糕的那些人。"我们用蛋糕来比喻各类可以分割的物体，不同的人对它有着不同的偏好，"美国蒙特克莱尔州立大学的数学家迈克尔·琼斯（michael Jone）这样解释道。这块蛋糕是一种象征，它可以是一块既有树林又有海滩的土地，也可以是一套公寓——小房间可以观景，而大房间则没有窗户。这块蛋糕还可以是一只鸡，既有胸肉，又有腿肉。

不过，这块蛋糕却无法代表馅饼。事实上，对于蛋糕切分理论，数学家有着丰富的研究历史（虽然仍显不足和陈腐），这种理论研究如何一刀划分整个空间。有一篇关于馅饼切分理论的文献写道，馅饼的切法是从中心开始下刀，然后呈放射状地往外拖。所以，完全切开一块馅饼需要两刀。不过，琼斯指出，从数学的角度上说，"你可以把一块已经切了一刀的馅饼看作一块蛋糕"。听上去，这像是隐居在山顶的智者会对贝蒂·克罗克（Betty Crocker）[③]说的话。

切蛋糕前，先来做做数学分析



不管怎样，还是回到费伯学园[④]的返校日聚会上来。现在的任务就是要切蛋糕。如果两个人用传统的手段瓜分蛋糕，那么方法相当简单，而且历史悠久——即使是在玛丽·安托瓦妮特（Marie Antoinette）[⑤]提议民众吃蛋糕的年代，也显得颇为老套。这个方法就是：一人切，另一人选。如此一来，切蛋糕的人会力求切分均匀，因为他知道，如果稍有不公，必定会得到较小的那块。

但是这种切分方式对某些蛋糕来说就行不通了。"例如，"琼斯说道，"如果一个蛋糕一半是巧克力口味，一半是香草口味，而一方更喜欢巧克力口味，另一方却没有偏好，那么就存在某种切法，可以令他们在感觉上都得到了大半个蛋糕。"切分过程涉及的公式，欢迎你在家中用丹麦甜点温习一下，尤其，当两个以上的人分享蛋糕时，这个过程会变得相当复杂。但是，在两个人分享巧克力香草蛋糕的例子中，你就能明白这个道理：如果喜欢巧克力口味的人得到了巧克力部分的80%（尽管只占了整块蛋糕的40%），他就会感觉占了便宜。而他那位没有偏好的伙伴，在得到剩下60%的蛋糕时，自然也会心满意足。可见，蛋糕制作商把蛋糕做得越来越复杂，价格也标得越来越高，其实是有经济动因的。

这个蛋糕切分理论可以应用于诸多场合，例如土地分割谈判等。它也间接地阐明，安然公司的图谋有欠完备。因为，虽然这个理论证明你真的可以卖掉多于百分之百的蛋糕，但是至少你得先有一个蛋糕。SA

▶环球科学小词典

①**《制片人》**，拍摄于1968年的经典荒诞喜剧片，讲述了一位落魄的原百老汇制片人跟一个"高级经济师"联手，吸引风险投资家出钱排戏，再阴谋搞砸这部《希特勒的春天》，好让投资全都落入他们个人的腰包。未曾想，那部"大话希特勒"版的闹剧大受欢迎，他们的计划也因此暴露，双双上了法庭。2005年，美国好莱坞曾翻拍此片。

②**安然公司**曾经是叱咤风云的"能源帝国"，2000年总销售收入高达1,000亿美元，名列《财富》杂志"美国500强"的第七位。2001年10月，安然公司第三季度财务报表公布，公司亏损6.18亿美元，随后该公司的财务造假被揭露出来。两个月后，安然公司申请破产保护，成为美国历史上最大的破产企业。

③**贝蒂·克罗克**是上世纪20年代，美国一家食品公司创造出来的虚拟人物，最初是为了回答顾客提出的各种有关烘焙食品的问题。后来，贝蒂·克罗克出现在广播中，开办了美国第一个烹饪类节目，并迅速走红，成为美国家喻户晓的食品烹饪专家。现在，这个名字还成了食品和厨具的品牌——贝蒂妙厨。

④**费伯学院**，1978年拍摄的美国喜剧《动物屋》中的学院。该片被评为史上50部最伟大的喜剧电影之一，曾经风靡全美国校园。

⑤**玛丽·安托瓦妮特**是奥地利皇帝弗兰茨一世的女儿，19岁成为法国国王路易十六的王后。她不了解民情，当知道老百姓没有面包果腹时，惊讶道：他们怎么不吃蛋糕啊！

责任编辑：崔月婷 / advice@sciam.cn

何必拒绝美食

撰文 迈克尔·舍默（Michael Shermer）
翻译 徐蔚

运动员难免要担心自己的体重，自行车运动员尤其如此。练习赛上，到处都有人在讨论怎样减磅、增磅，和最新的饮食养生法和饮食时尚；各种健康饮食法层出不穷，又接连被推翻。我们都知道：在5%坡度（即2.25°）的斜坡上，超重10磅，爬坡时速就会下降0.5英里。这是有据可依的，根据牛顿第二定律：$F=MA$，蹬自行车所需的力与加速度和车座承受的质量成正比。

跟我一起骑车的人大多和我一样：四五十岁，有家有业，早就错过了竞赛的黄金期。我们骑车只是为了愉悦身心、保持健康，所以，何必为了一点点超重而耿耿于怀？不过，控制体重是自行车文化的一部分，而自行车文化是我们这个社会的缩影。饮食的控制遵循着自己的定律：食物的数量和味道，与吃下之后“犯罪感”的强烈程度成正比。

现在的问题是，人类从没有像今天这样，有如此丰富和珍贵的食物可以享用，我们又怎能抗拒这些美味的诱惑？美国南加州大学社会学教授巴里·格拉斯纳（Barry Glassner）在他即将出版的新书《饮食信仰：你信奉的饮食规则都是错的》中写道，我们不应该拒绝美味，至少不应该完全拒绝。格拉斯纳认为，人们错误地信奉着“不存在的真理”，竟然认为“一顿饭的价值取决于饭菜中缺少的成分：糖、盐、脂肪、卡路里、碳水化合物、防腐剂、添加剂以及其他的可疑物质越少，饮食就越健康。”格拉斯纳认为，这种饮食信条毫无科学性可言。

谈到健康地吸收营养，味道的重要性就体现出来了。格拉斯纳在书中引用了这样一项研究：“面对同一道泰国菜，参与试验的瑞典妇女都觉得味道太辣，而喜欢这道菜的泰国妇女则从中吸收到更多的铁。相反，当自愿者享用汉堡包、马铃薯和豆子时，偏爱这类食物的瑞典妇女吸收的铁更多。最值得注意的是第3项试验，这一次，摆在自愿者面前的是营养价值很高，但淡而无味的糊状物。在这种情况下，无论是泰国人，还是瑞典人，都没能吸收到更多的铁质。”

少糖、少盐、拒绝脂肪、不要碳水化合物……何必如此谨小慎微？实验证明，口味不佳的食物就算营养再丰富，人体也无法吸收，喜欢吃肉也不等于就会得心脏病。饮食对健康的影响远不及人们想象的那么重要，不如开开心心享受美食！

说到铁，既然已经证明阿特金斯减肥法不利健康，是否该把肉类归为危险食物呢？错！格拉斯纳在书中提到，研究证明，希腊人、意大利人和日本人的肉类消耗量和血胆固醇都在增长，但他们死于心脏病的几率却相对降低了。当然，在确定减肥和健康之间的因果关系时，我们无法排除其他因素的作用。格拉斯纳提到的一项研究显示，如果每天锻炼30分钟，不吸烟，多吃鱼、纤维和叶酸（folate），心脏病突发的几率就会降低28%；当然，还要尽量避免摄入饱和脂肪酸、反式脂肪酸（trans fat）以及让葡萄糖水平骤升的碳水化合物。套用哈佛大学流行病学家卡琳·米歇尔斯（Karin Michels）的说法：“与减少非健康食物的常规摄入相比，增加健康食物的常规摄入更重要。”

现在的健康问题更加复杂。格拉斯纳在书中回顾了对心脏病、癌症等多种疾病的研究，认为它们明显是由“病毒和细菌感染、工作压力、压抑的生活环境，还有早年的一些不足，比如营养不良、出生时体重过低、缺少父母关爱，以及青春期和成人阶段的慢性失眠”造成的。另一项研究显示，这些疾病“在公众参政率较低、种族歧视程度较高，或者贫富差距过大、男女收入不均的地方发生几率更高”。

格拉斯纳援引《新英格兰医学杂志》前任编辑马西娅·安吉尔（Marcia Angell）的说法，进一步解释这些数据：“尽管我们乐于相信，改变饮食习惯和生活方式能极大改善健康状况，也不排除改善健康状况的可能性。但除了某些特殊情况（例如戒烟），上述改变对健康的影响可能微弱而短暂。一份对某人无害的食谱，也许会对另一个人产生不良影响。”

正如传教士在《旧约·传道书》第八章第十五节中所说：“我赞美欢笑，对一个人来说，阳光底下，没有什么能比吃喝享乐更幸福了。”SA

▶环球科学小词典

阿特金斯减肥法：又称“吃肉减肥法”，1972年由美国医生阿特金斯提出。他宣称，造成肥胖的罪魁祸首不是肉，而是碳水化合物，所以人们可以尽情地吃肉，而且应该多吃动物蛋白质。这种减肥法一直备受争议，2003年阿特金斯逝世，《华尔街日报》质疑他的死因与自己提出的这种过激的饮食法有关，并揭露出多个因实施这种饮食法而致病的案例。

反式脂肪酸（trans fat）：一种不饱和脂肪酸。当植物油发生氢化作用，变成饱和脂肪的过程中，就会产生反式脂肪酸，油炸食品是来源之一。摄入反式脂肪酸会增加血液中的胆固醇含量，提高患心血管病的几率，还可能和肥胖病、糖尿病和其他新陈代谢疾病有关。

中国计算机用户年度评选推介公告

2006年度中国信息产业信息化建设优秀单位

北京皓太平洋科技开发有限公司
易安信电脑系统(中国)有限公司
国家工商行政管理局经济信息中心
铁道部信息技术中心
审计署计算机技术中心
中国国际电子商务中心
中国人寿保险公司信息技术部
鞍山钢铁集团公司
中国进出口银行信息技术部
长春一汽启明信息技术有限公司
新疆油田公司
中国石油化工股份有限公司河南油田分公司

2006年度中国信息产业信息化推进明星

铁道部信息技术中心	李彭扬
中国国际电子商务中心	何玉冉
鞍山钢铁集团公司	林　清
国家工商行政管理局经济信息中心	刘泽苑
国家信息中心	宁家骏
中国农业银行软件开发中心	苗玉霞
中国石油天然气集团公司科技发展部	刘正武
中国石油化工股份有限公司河南油田分公司	马平生
大庆油田物资集团	仲　辉
新疆油田公司	陈新发

2006年度中国信息产业杰出领导人

AMD公司大中华区总裁	邓可尊
思科系统（中国）网络技术有限公司总裁	林正刚
中软国际有限公司CEO	陈宇红
浙江大学软件技术集团有限公司公司总裁	蒋　屹
联想集团有限公司高级副总裁兼大中国区总裁	陈旭腾
太极计算机股份有限公司总裁	刘淮松
金蝶国际软件集团有限公司总裁	徐少春
中国电信集团系统集成有限责任公司董事长、总裁	刘志勇
金算盘软件有限公司董事长、总裁	杨　春
星海手集团董事长、总裁	孙　勇
东方集团（易事特电力系统技术有限公司）总裁	何思模
北京瑞星科技股份有限公司总裁	王　芳

2006年度中国信息产业风云人物

北京北信源自动化技术有限公司总裁	林　铭

2006年度中国信息产业诚信企业

联想（北京）有限公司
金蝶软件（中国）有限公司
中软国际有限公司
易安信电脑系统(中国)有限公司
SAP中国
太极计算机股份有限公司
OKI日本商业（北京）有限公司
伊顿爱克赛电源(上海)有限公司
北京华北顺通科技有限公司
中科红旗软件技术有限公司
铭万信息技术有限公司
中企动力科技集团股份有限公司
中铁信弘远(北京)软件科技有限责任公司
中国电信集团系统集成有限责任公司
厦门道达科技有限公司
厦门网彩飞扬数码科技有限公司
中国计算机用户服务优质企业
中软国际有限公司
CA中国
爱普生（中国）有限公司
金蝶软件（中国）有限公司
北京广联达软件技术有限公司
南通市佑泰实业有限公司
南天电子信息产业股份有限公司
科士达科技发展有限公司
太极计算机股份有限公司
中铁（北京）信息技术服务有限责任公司
北京立友信科技有限责任公司

2006年中国信息产业市场或用户占有率最高企业

中软国际有限公司：RFID及数据资源市场
梅兰日兰电子（中国）有限公司：中大功率UPS市场
东方集团（易事特电力系统技术有限公司）：
　10KV机以下UPS电源用户

2006年度中国信息产业用户量领先企业

思科系统（中国）网络技术有限公司：网络和通信领域产品用户
北京瑞星科技股份有限公司：杀毒软件产品用户
北京北信源自动化技术有限公司：终端安全管理及审计产品用户
中软国际有限公司：船舶行业用户
东方集团（易事特电力系统技术有限公司）：UPS电源产品用户

2006年度中国计算机用户使用评价全优企业

AMD公司：处理器产品
中软国际有限公司：AE审计软件产品
爱普生（中国）有限公司
江门市得实计算机外部设备有限公司
南通市佑泰实业有限公司

2006年度中国信息产业市场占有率最高产品

英特尔（中国）有限公司--英特尔迅驰双核移动计算产品
联想（北京）有限公司--联想天逸F40
思科系统（中国）网络技术有限公司
　--Cisco 3800系列集成多业务路由器
国际商业机器（中国）有限公司--IBM Lotus sametime 7.5
神州数码(中国)有限公司--Contex大幅面扫描仪
北京皓太平洋科技开发有限公司--网站决策支持系统
北京纽曼理想数码科技有限公司
　--纽曼MP3产品、纽曼移动存储产品
北京北信源自动化技术有限公司--终端安全管理及审计产品
北京立友信科技有限责任公司--MyCRM软件产品
北京广联达软件技术有限公司--广联达工程造价软件
任我行软件发展有限公司--管家婆软件产品

2006年度中国信息产业用户量占有率最高产品

北京时空超越科技有限公司
　--CCERP中国高通企业资源计划管理系统
江门市得实计算机外部设备有限公司--DS系列针式打印机
金蝶软件（中国）有限公司

2006年度中国信息产业最具应用价值产品

AMD公司--AMD Opteron皓龙处理器
　--AMD ATI Radeon X1950XTX 处理器
国际商业机器（中国）有限公司
　--IBM Rational SOAD 软件开发平台
思科系统（中国）网络技术有限公司--思科统一通信
太极计算机股份有限公司--农信银资金清算综合业务系统
深圳市中远景软件技术有限公司--中远景FIOA协同办公系统
铭万信息技术有限公司--铭万八方通宝
北京神州航天软件技术有限公司
　--神州AVIDM协同产品创新管理软件
伊顿爱克赛电源（上海）有限公司
　--Eaton Powerware 9390系列产品
中铁信弘远（北京）软件科技有限责任公司
　--中铁信息服务管理系统
厦门道达科技有限公司--墨C智慧海续供墨系统
北京联达动力智能文件审批系统有限公司
　--联达动力智能文件审批系统
北京万户网络技术有限公司
　--ezOFFICE2006万户协同管理平台
重庆金算盘软件有限公司--金算盘全程电子商务平台
北京金山软件有限公司--WPS OFFICE 2005

2006年度中国信息产业创新产品

联想（北京）有限公司--天骄S6010i
威盛电子--VIA C7系列产品（C7、C7-M、C7-D）
思科系统（中国）网络技术有限公司--思科网盘
中铁信弘远（北京）软件科技有限责任公司
　--中铁信科海安全隔离与信息交换系统
　--中铁信科海安全管理平台
神州数码网络公司
　--DCRS-7800系列IPv6万兆核心路由交换机
科士达科技发展有限公司--科士达一体化模式机房

2006年度中国信息产业节能产品

英特尔（中国）有限公司
　--英特尔® 酷睿™ 2 双核处理器 E6300
威盛电子--VIA C7系列产品（C7、C7-M、C7-D）
东方集团（易事特电力系统技术有限公司）
　--EPS节能型智能应急电源
厦门网彩飞扬数码科技有限公司--金太阳品牌连续供墨系统

2007年度中国信息产业首选系统集成商

浙江大学技术集团有限公司
太极计算机股份有限公司
中软国际有限公司
南天电子信息产业股份有限公司
中国电信集团系统集成有限责任公司

2007年度中国信息产业行业采购首选品牌

英特尔（中国）有限公司--英特尔® 酷睿™2双核处理器
思科系统（中国）网络技术有限公司--思科统一通信
金蝶软件（中国）有限公司--金蝶软件
威泰视讯设备（中国）有限公司--VTEL视频终端产品
北京神州航天软件技术有限公司--"神舟"品牌软件产品
深圳华北工控有限公司--华北工控NORCO
北京数码大方科技有限公司
　--CAXA图文档2007、电子图板2007、实体设计2007
中科红旗软件技术有限公司--操作系统软件产品
SAP中国--mySAP ERP2005软件产品
OKI日本商业（北京）有限公司--针式打印机产品
梅兰日兰电子（中国）有限公司--UPS产品
苏州浩辰科技发展有限公司--CAD产品
易安信电脑系统(中国)有限公司--存储产品
浪潮（北京）电子信息产业有限公司--存储产品
江门市得实计算机外部设备有限公司--DS 系列产品
重庆金算盘软件有限公司--金算盘ERP
爱普生（中国）有限公司--打印机产品
中软国际有限公司--Resource One
RSA信息安全公司--身份认证产品
Websense公司--上网行为管理产品
北京瑞星科技股份有限公司--瑞星杀毒软件2007版
科士达科技发展有限公司--科士达UPS
南天电子信息产业股份有限公司
　--南天PR-9、PR-2E系列存折打印机
　--BST系列自助服务终端、BP系列磁条读写器
　--金融前端平台软件OFP ® AutoBranch
　--金融综合前置平台OFP ® PreBranch ®
　--南天IT网络服务
易事特电力系统技术有限公司--UPS电源产品
北京立友信科技有限责任公司--MyCRM软件产品
南通市佑泰实业有限公司--键盘、音箱、机箱、电源、显示器产品
厦门网彩飞扬数码科技有限公司
　--染色凝显脱连续供墨系统
伊顿爱克赛电源(上海)有限公司
　--Eaton Powerware系列UPS产品
北京皓太平洋科技开发有限公司--网站决策支持系统
神州数码(中国)有限公司--Contex大幅面扫描仪

2006年度中国信息产业信息化最佳应用解决方案

国际商业机器（中国）有限公司--IBM Tivoli CCMDB解决方案
思科系统（中国）网络技术有限公司--思科智能社区解决方案
SAP中国--mySAP CRM 客户关系管理解决方案
深圳市中远景软件技术有限公司--中远景电子政务解决方案
科士达科技发展有限公司--科士达大中型数据中心整体机房解决方案
北京数码大方科技有限公司--CAXA V5 PLM
太极计算机股份有限公司
　--国产化电子政务区域资源共享和政务协同解决方案
中软国际有限公司--应用总集成解决方案
金蝶软件（中国）有限公司--企蝶个性化管理软件解决方案
威泰视讯设备（中国）有限公司--VTEL政府机关解决方案
北京广联达软件技术有限公司--广联达施工项目成本管理解决方案
梅兰日兰电子（中国）有限公司--全方位数据机房整体解决方案
南天电子信息产业股份有限公司
　--南天银行综合业务系统整体解决方案
　--资产管理公司综合经营管理系统
　--电子政务办公业务资源信息系统
　--南天城市信息亭系统整体解决方案

2006年度中国信息产业IT教育影响力认证首选品牌

北京巨人文化发展有限公司文化艺术培训学校

2006年度中国信息产业IT教育网络工程师最佳课程品牌

北京清华万博网络技术股份有限公司

2006年度中国信息产业IT教育最佳师资培训机构

北京巨人文化发展有限公司文化艺术培训学校--设计师
北京芯盾创业科技有限公司--硬件工程师
东方标准（原新东方职业教育中心）--软件工程师
上海希腾信息科技有限公司--游戏工程师
北京汇众益智科技有限公司（游戏学院）--游戏设计与开发工程师
中科院计算所职业培训中心--软件工程师

2006年度中国信息产业IT教育金牌培训机构

北京达内科技有限公司--软件培训金牌培训机构
北京市海淀区新东方职业教育中心--教学质量金牌培训机构
上海希腾信息科技有限公司--教育质量金牌培训机构

2006年度中国计算机用户企业培训首选机构

北京清华万博网络技术股份有限公司

2006年度中国信息产业IT教育培训杰出就业贡献奖

北京达内科技有限公司

2006年度中国信息产业IT教育最佳就业培训机构

北京市海淀区八维计算机培训学校
东方标准（原新东方职业教育中心）

2006年度中国信息产业最佳IT教育示范基地

用友软件股份有限公司
北京汇众益智科技有限公司（游戏学院）--（游戏）教育示范基地

中国计算机用户协会

责任编辑：崔月婷 / advice@sciam.cn

Q 为什么猫有内眼睑

解答专家：保罗·米勒（Paul Miller）
美国威斯康星大学麦迪逊分校兽医眼科专家

内眼睑并不是猫特有的生物学特征——在哺乳动物和鸟类中很常见，在自然界里，像人和其他灵长目这样没有内眼睑的物种才是真正的另类。内眼睑又被称为第三眼睑，它是上、下外眼睑的重要补充，很好地保护着眼球表面的健康。

第三眼睑的正式名称叫瞬膜（nictitating membrane）。它的解剖结构复杂，是一种皱襞组织，上面覆盖着特有的黏膜（即结膜）。在与眼球表面和泪液膜（由泪水构成的薄薄的液体层）接触的瞬膜内侧上，挤挤挨挨地聚集着淋巴滤泡（lymphoid follicle）。这些滤泡就像是眼睛的淋巴结，保护眼睛表面免受微生物侵扰。

在两层结膜之间，有一道致密的近似于T形的软骨板，它弯曲的程度与眼睛前面的透明覆盖物——角膜表面一致，而T形软骨板的横杆强化了第三眼睑的自由边（free edge，瞬膜呈半月形，其中的软骨板加固了大部分的边缘，只剩下一条可以活动的边）。大部分泪膜的出产地——副泪腺（accessory lacrimal gland）则分布在T形软骨板的竖杆四周。

当猫警醒的时候，它的第三眼睑大部分都藏在眼窝里，只能在眼睛内角看到小小的一角。然而，在猫放松、睡觉或眨眼的时候，一组骨骼肌使眼球后缩，我们就能看到它的第三眼睑在眼球表面运动，并完全盖住了角膜。

此时，第三眼睑就像汽车雨刮器的刮片，清除眼球表面的碎屑，让眼泪重新覆盖到整个角膜上。人们还相信，当猫在草丛中穿行，或捕捉猎物的时候，第三眼睑有助于保护角膜。灵长目动物的眼睛如果沾上较大的碎屑，角膜很容易受伤，但猫的眼睛有第三眼睑的协助，加上副泪腺，就能更好地发挥泪膜对角膜的保护作用，也能容忍更大的碎屑暂时停留在角膜表面。

谁也不知道为什么人没有第三眼睑，可能因为人通常不会像猫那样捕捉猎物，也不需要像马那样埋头在植物丛中觅食。因此，这种保护眼睛的特别措施无法给人类的生存带来多大好处，所以就慢慢退化消失了。SA

（翻译 / 冉隆华）

Q 阿司匹林有哪些副作用

解答专家：李晓辉，第三军医大学药理学教授

阿司匹林可以镇痛、解热、消炎、抗风湿。19世纪末，人们就开始使用阿司匹林来治疗疾病。近年来，人们发现阿司匹林还可影响血小板聚集，防止血栓形成，在防治心脑血管疾病方面有独到之处，被称为“心血管疾病现代治疗的基石”。患有冠心病、脑血管疾病（如心绞痛、心电图显示缺血、血管狭窄或有粥样斑块）、心肌梗死或中风的病人均可长期、小剂量（每日75mg ~ 150mg）服用阿司匹林。

阿司匹林的不良反应主要表现在对胃黏膜的刺激上，少数病人甚至会出现消化道出血。少见的不良反应还包括支气管痉挛、过敏性皮疹等。阿司匹林由于阻碍肾脏排泄尿酸，还能在部分患者中引起血尿酸增高，甚至诱发痛风。为了减少阿司匹林胃肠道反应，可服用阿司匹林肠溶片、肠溶粒、泡腾片等其他剂型代替普通阿司匹林。在服药期间，病人最好每3 ~ 6个月进行一次血液检查（包括白细胞、血小板等）。SA

经典回眸 50,100&150 Years Ago

皮亚杰的物理学・巴比伦的税收・莫比尔的棉花

1957 年 3 月

儿童和物理学——“1928 年的一天，当我向爱因斯坦论证一些有关因果律（causality）的试验时，他向我提出了这样一些问题：小孩子是怎样理解速度的？他们能明白距离与时间之间的函数关系吗？孩子对速度的理解是不是更简单，也更依赖直觉呢？在那之后，我做了一个简单的试验，结果显示，孩子们理解的速度，并不能代表距离与时间的关系。试验时，我们在参与测试的孩子面前摆放了两条长短明显不同的轨道，上面各放一个玩具，再用金属棒推动玩具向前滑动，让它们同时到达轨道尽头。然后向孩子提问：

‘是不是一条轨道长，一条轨道短？’

‘是的，那条长。’

‘两个玩具娃娃在轨道上的速度是一样快，还是一个比另一个快？’

‘一样快。’

‘为什么？’

‘因为它们同时到达终点。’”

——让・皮亚杰（Jean Piaget）

1907 年 3 月

古巴比伦——“在命运之手将巴比伦推向没落之前，尼普尔（Nippur，位于巴比伦东南部幼发拉底河上的古城，苏美尔人时期的重要宗教中心）肯定是个令人向往的住处。那里的‘图书馆’藏有 25,000 本以泥板制成的书籍和文件。美国宾夕法尼亚大学的艾伯特・T・克莱（Albert T. Clay）教授已经成功破译了很多重要文件。从这些文件来看，生活在公元前 1400 年的尼普尔居民，恐怕是最早悲叹‘税收猛于虎’的人，因为很多出土文件都是租金或者缴税收据。当时，他们用于交纳赋税的并不是货币，而是农产品，诸如玉米、芝麻、油、椰枣、面粉或者牲畜。”

电话音乐——“卡希尔博士发明的‘电传簧风琴’，可以根据各种音调产生的声振动，产生出相应的电振动，从而将声音通过电线传送到各个指定地点，然后利用电话听筒、扬声器等转换器材（在下图中，扬声器被装饰成吊挂植物），就能将声音播放出来。”

虚拟乐团：电子合成音乐在装饰成悬挂植物的扬声器中播放。（1907 年）

胚种论——“现已证实，超低温对一些微生物不会造成伤害，由光引起的光化学变化速率，以及脱水的速率，都会随着温度降低而减缓。由此，我们也许可以得出以下结论：星际空间的低温保护了微生物的生命，使得微生物有可能从一个太阳系转移到另一个太阳系——自然发生不是生命起源的唯一途径。我们更有理由相信，宇宙中的全部有机体都彼此相关，所有进化过程都是相同的。”

——斯凡特・阿伦尼乌斯（Svante Arrhenius）

1857 年 3 月

棉花着火——“近来发生在莫比尔（Mobile）地区的大火烧毁了几千包棉花。为此，南方多家报纸都在讨论是否应该使用金属丝捆绑棉花。使用金属丝的最大好处就是，它不像绳子一样易燃、易断。着火时，一旦绳子断裂，棉花就会散开，随着风势引燃附近的棉花包，造成更大损失。用金属丝捆绑的棉花则不易被引燃，即便是着了火，也多处于闷烧状态。”

铺设电缆——“海军部长下达命令，美国汽船‘尼亚加拉号’（Niagara）和‘密西西比号’（Mississippi）今年夏季驶往英国，协助铺设纽芬兰（Newfoundland）和爱尔兰之间的海底电报电缆。‘尼亚加拉号’是世界上最大的战舰，而‘密西西比号’则是我们海军中马力最大的明轮汽船。至于英国政府将派遣什么样的船只来完成这项任务，我们尚未知晓。‘尼亚加拉号’将在伦敦或利物浦接收一半电缆，另外一半电缆将安置在英国海军舰船上。”很多刚刚出版的日报都高度评价这一事件：两大强国的战舰并非出于作战目的，而是为了完成连接两个半球的和平使命而在海上会合，标志着人类文明的进步。”SA　（译 / 徐蔚）

▶环球科学小词典

皮亚杰是瑞士儿童心理学家，提出了发生认识论。他通过儿童心理学把生物学与认识论、逻辑学结合起来，从而将传统的认识论改造成为一门实验科学。他曾任瑞士心理学会主席、法语国家心理联合会主席和第十四届国际心理科学联盟主席，1969 年获美国心理学会颁发的杰出科学贡献奖。

“胚种论”是对地球生命起源的一种猜测，由瑞典化学家、1903 年诺贝尔化学奖获得者阿伦尼乌斯于 1907 年首先提出。他认为，生命的种子存在于宇宙的每一个角落，它们被某些载体（如陨石）带入地球，就如蒲公英播撒种子一样，使地球有了生命。

责任编辑：虞骏 / advice@sciam.cn

一年之计在于春。值此春暖花开、万物复苏之际，小编祝全国的读者学业进步，事业有成！

不少邮局订阅的读者来信反映，他们往往要到每月15号之后才能收到当期杂志。为了将新一期杂志及时送到读者手中，杂志社专门与邮局进行了沟通，还在北京开设了分印点。从本期开始，邮局订阅的朋友都可以在每月10号之前收到当期杂志了。如果在订阅《环球科学》方面遇到了什么问题，请及时转告我们，我们会尽最大的努力，为你们排忧解难。

读者热线：023-63658888-16048
E-mail：advice@sicam.cn
来信请寄：重庆市渝中区双钢路3号科协大厦1204 环球科学杂志社
邮编：400013

■ 我订阅《环球科学》有半年多了。这本杂志告诉我很多先进的科学情报，让我觉得距离当今科技不再遥远。感谢你们给我带来那么多知识和快乐。我的朋友也喜欢传阅我的杂志，他对人文科学很有兴趣。他觉得《环球科学》上的文章都很不错，只是人文科学内容太少了。我觉得他说得没错。人文科学是很多人有兴趣的，也是一般人容易理解的，多登一些这方面的文章，会为《环球科学》增添一份色彩，多一些读者，多一些共鸣。衷心祝愿《环球科学》越来越精彩！ ——大连 李舒婷

回复：很高兴你能从《环球科学》上获得知识和快乐，感谢你提出的中肯建议。我们也意识到，前沿科学距离读者的生活有些遥远，不容易引起共鸣。因此，在为大家呈献科学前沿动态的同时，我们还特意从《科学美国人》的其他子刊上，选取了一些与生活较为贴近的内容，例如本期的《合作是人类的本能》和上一期的《健忘的一千零一个理由》，希望你的朋友能够喜欢。

■ 我是参加今年研究生入学考试的考生，也是贵刊的忠实读者。从你们创刊的第一期起，我就坚持阅读，在紧张的考研复习阶段也从未间断。没想到，《环球科学》送了我一份意外的惊喜——今年的考研英语试题，一道阅读理解题竟然节选自《科学美国人》，正是贵刊2006年第9期的封面文章。这道阅读理解大题我自然轻松拿下，考试的心情也突然愉快起来。在这里，我要感谢你们的努力工作给我带来的幸运，也祝《环球科学》越办越好，为我们送上更多的惊喜。谢谢！ ——中山大学 程嘉华

回复：《科学美国人》上的科学美文，经常被托福和GRE考试选中。记得以前准备这些考试时，老师推荐的必读书目中，就有《科学美国人》杂志。所以，这次被研究生入学考试选中，既是意料之外，也是情理之中。希望我们带给你的幸运，能够让你取得一个好成绩，考上心中理想的学校。

■ 我是北大生物系毕业的，现在在美国芝加哥大学攻读博士学位。来到这里以后，亲眼看到了中国和美国在科普方面的巨大差距，让我逐渐觉得，在中国搞科普是一件功德无量的事情。《科学美国人》在这里非常受欢迎，国内却传来了中文版停刊的消息。我在网上搜到了《环球科学》，发现你们接起了科普的重担，这很让人振奋。我希望自己也能为中国的科普事业做一些力所能及的事情。 ——美国芝加哥大学 刘旸

回复：谢谢你热情洋溢的来信。美国在科普方面确实走在我们的前面，这也是他们的科技得以领先世界的原因之一。我们引进《科学美国人》，除了将最前沿的科学进展介绍给国内的读者以外，还希望将他们的科普氛围引进国内，培养我们自己的科普队伍，提高国内的科普水平。如果具有专业背景的读者，都能像你一样怀有一份对科普的热情，我们相信，《环球科学》的明天一定会更好！

请继续订阅2007年《环球科学》

这段时间，编辑部的电话成了热线，不断有读者询问合订本的情况和2007年杂志的订阅方法。小编在这里提醒大家，《环球科学》可以破季订阅，你随时可以到当地邮局订阅。部分过刊和《环球科学2006年合订本》，则可以直接向杂志社购买。

1.到各地邮局订阅：
邮局订阅代号：80-498，全年订阅价144元，半年订阅价72元，季度订阅价36元。
友情提示：《环球科学》可以破季订阅。

2.向《环球科学》杂志社订阅：
邮局汇款（汇款时请注明您的姓名、通信地址、邮编、电话和订阅起止时间）
汇款地址：重庆市渝中区双钢路3号科协大厦1204
收款单位：环球科学杂志社
邮编：400013
友情提示：请妥善保存订阅收据，以便日后查询。

3.网上订阅：www.itbook.com.cn
友情提示：网上订阅均采用在线支付方式，支持多种银行卡网上支付。

对直接从杂志社和itbook网站上订购一年以上(含一年)杂志的订户，我们推出如下优惠：
选用挂号方式(推荐)：全年优惠价150元(原价180元)
选用平邮方式：全年优惠价120元(原价144元)
《环球科学2006年合订本》：135元/套（原价150元），单册购买：68元（原价75元）

有错必改

勘误与致歉：

◎ 2007年第2期第48页，图注中“TTP”应为“TPP”。
纠错读者：梁楠

◎ 2007年第2期第37页，第一行“优胜劣态”应为“优胜劣汰”。
纠错读者：任孝美

感谢两位读者为《环球科学》纠错，杂志社将特别赠送给他们最新出版的杂志一本。如果你在杂志中发现错误，不论是事实、观点、翻译错误，还是一个错别字、一个标点，都请第一时间告诉我们。真诚感谢你的参与。

2007 年第 1 期的《环球科学》公布了首批优秀译者名单，激发了大家参与译文擂台的积极性，我们几乎每天都能收到热心读者发来的译文。由于译文数量多质量高，评审委员会的专家在评审时经常难以取舍。经过多次讨论和反复筛选，我们最终选出了以下 5 位优秀译者，他们分别是：**丁宇（长沙）、王昊明（天津）、张宁（武汉）、陈举和魏炜（上海）**。

2007 年第 1 期译文擂台登出的短文介绍了心理学方面的新发现。文中列举了实验数据，证明一些微弱的干扰信号，虽然无法被有意识地察觉，但却足以引起潜意识的注意，进而分散注意力。原文较为浅显，大部分译者都准确把握了主旨，因此专家将评判的重点，放在了文字的通顺和逻辑关系的梳理方面。

以描述实验过程的那句“Study participants were told to report the pair of numbers in a string of six letters and two numerals that they saw on a computer screen”为例。有些读者将这句直译成：“受试者要求报出计算机屏幕上出现的一串由 6 个字母和 2 个数字组成的序列中的数字来”。虽然准确，但未免显得冗长。相比之下，王昊明将长句一拆为二，就通顺多了。他的译法是：“受试者会在屏幕上看到由 6 个英文字母和 2 个数字组成的一串字符，而他们则要准确说出其中的两个数字”。

再以倒数第二段中的一句为例，当一个微弱的干扰信号出现时，“the visual cortex was activated, though the signal was computed only subconsciously: the lateral prefrontal cortex was not activated”。三个短句都很简单，关键在于理清其中的逻辑关系。陈举读者的译法：“视皮层激活了，但是边侧前额叶却没有激活，这说明信号加工是以潜意识方式进行”，调整了后两句的顺序，将其中的因果关系清楚地表现出来。而张宁读者的译法：“视觉皮层区被激活，但信号完全处于下意识状态——被试者的前额叶边缘皮层区并未被激活”，则巧用一个破折号，点明了逻辑关系。

这些细节上的巧妙处理，正是 5 位优秀译者最终赢得专家好评的关键。

本期译文擂台，我们特意挑选了一篇物理学方面的英文短讯，电子文档请到网站论坛的翻译新闻区（http://www.sciam.cn/bbs/thread.php?fid=20 ）下载。**参加译文擂台的读者，请在 2007 年 4 月 10 日之前，将译文通过电子邮件发送到 advice@sciam.cn，在邮件主题中注明“2007 年第 3 期译文擂台”，并在邮件中留下 QQ、MSN 或者联系电话，方便及时联系。**评审委员会将选出 5 位优秀译者，公布在《环球科学》2007 年第 5 期上，每位优秀译者将获赠《环球科学》杂志一本。

Quantum Quirk: Stopped Laser Pulse Reappears a Short Distance Away

Harvard University researchers have halted a pulse of laser light in its tracks and revived it a fraction of a millimeter away. Here's the twist: they stopped it in a cloud of supercold sodium atoms, known as a Bose–Einstein condensate (BEC), and then restarted it in a second, distinct BEC as though the pulse had spookily jumped between the two locations.

"It's odd," says atomic physicist Lene Hau, the team's leader. "We can actually revive the light pulse and send it back on its way as if nothing had happened." Besides being a neat quantum game of catch, Hau speculates that the technique may someday be used in optical communications or ultraprecise navigation systems.

BEC clouds are prized because their atoms' delicate quantum states all vibrate in unison, effectively creating one big atom that does things individual atoms cannot. In 1999, for example, Hau's group slowed light inside a condensate to "bicycle speed" (38 mph). For the new experiment, she and her colleagues shined a control laser beam through two independent BECs placed side by side. They struck the first BEC with a laser pulse, which slowed and transferred its energy into a collective shudder of the condensate atoms–a sort of slow-moving ripple of matter that mirrored the laser pulse.

The researchers shut off the control beam long enough to give the wave time to travel the 160 microns between the BECs and then reactivated it. The laser caused the matter wave to coalesce (dump atoms) inside the second BEC, forcing the surrounding atoms to radiate like antennas and reproduce the original pulse.

"It's really playing with quantum mechanics at a lot of different levels," Hau says. The laser pulse and BEC are able to trade energy only because the quantum states of the condensate atoms match up with the frequency of the laser. As a result, the BEC enters a so-called superposition, meaning the matter wave is simultaneously there and not there.

The matter wave cannot distinguish between the BECs, because the superposition of the first BEC means that it is partly in the same pristine, undisturbed condition as the second one, says Michael Fleischhauer of the Technical University of Kaiserslautern in Germany in an editorial accompanying the Harvard team's report, published online February 7 by Nature. With a bit of prompting it therefore transfers its energy to the new condensate in an exact reversal of what happened in the first condensate, producing what he calls "a striking and intriguing demonstration of a fundamental aspect of quantum physics."

It might eventually have practical applications, too. By changing where the matter wave coalesced, Hau's group could alter the properties of the restored pulse, suggesting the technology could be used to manipulate optical signals, perhaps helping to realize quantum schemes for ultrasecure communications, Hau says. She adds that it could also be used to produce continuous laserlike streams of supercold atoms, which could enhance navigation systems.

——**JR. Minkel**

Preview
下期精彩预告

自身抗体预言疾病

疾病在悄悄地侵蚀人类的身体！不过，它们的行踪即将暴露无遗，因为科学家在人体的血液里发现了预报疾病的“水晶球”——自身抗体。我们能从这颗“水晶球”里，发现多种疾病的信息，从而在疾病的萌芽期，将它们一网打尽！

- 描绘肿瘤基因图谱　挖出癌症复杂成因
- 数字『记忆』记录你一生所见所闻
- 欺骗你的眼睛　颜色影响大脑辨识图形
- 巨型黑洞　掌控整个星系团的命运
- 绿色柴油机　清洁无害的新型发动机
- 建坝不易拆坝难　生态环保须先行

Terms
部分中英名词对照

专有名词

化学、生物、医学、社会

academic achievement 学业成就
accessory lacrimal gland 副泪腺
allergy 过敏
anaerobic bacteria 厌氧菌
arthritis 关节炎
biomass 生物质
bird flu 禽流感
breast cancer 乳腺癌
bryostatin 苔藓虫素
calcium carbonate 碳酸钙
carbonate nodule 碳酸盐结核
cardiovascular diseases 心血管疾病
carnivorous animal 食肉动物
chloromethane 氯甲烷
Colon cancer 结肠癌
Colorectal polyps 大肠息肉
Curcuma longa 姜黄
curcumin 姜黄素
dicoumarol 双香豆素
folate 叶酸
free edge 自由边
gastritis 胃炎
gossypol 棉酚
halichondrin-B 大田软海绵素
host-versus-graft response 宿主抗移植物反应
hydrogenation 氢化作用
inflammatory bowel disease 肠炎
lymphoid follicle 淋巴滤泡
Majungatholus atopus 犰君颅龙
methane 甲烷
Myeloid leukemia 髓性白血病
neural prosthesis 神经假体
nictitating membrane 瞬膜
pancreatitis 胰腺炎
pectin 胶质
plant tissue 植物组织
Rahonavis ostromi 胁空鸟龙
Rapetosaurus 掠食龙
rare earth element 稀土元素
resveratrol 白藜芦醇
Rheumatoid arthritis 类风湿关节炎
trans fat 反式脂肪酸
tumor necrosis factor，TNF 肿瘤坏死因子

物理、天文、地质、IT

Analog TV 模拟电视
atmospheric circulation 大气环流
Auger recombination 俄歇复合
baryon 重子
bonebed 尸骨层
cable modem 电缆调制解调器
CableCARD 有线电视卡
carbon intensity 碳排放系数
causal dynamical triangulation，CDT
因果性动力学三角剖分
causality 因果律
cliff effect 悬崖效应
cochlear implant 人工耳蜗
coded orthogonal frequency division multiplexing，COFDM 编码正交频分复用调制
Conditional Access System，CAS
条件接收系统
constructive interference 相长干涉
cross-stratification 单斜交错层理构造
dark energy 暗能量
destructive interference 相消干涉
digital divide 数字鸿沟
digital tuner 数字调谐器
Disk Video Recorder, DVR 硬盘录像机
Enhanced-Definition Television ， EDT
增强清晰度电视
excited state 激发态
field programmable gate array, FPGA
现场可编程门阵列
free carrier absorption 自由载流子吸收
galaxy cluster 星系团
Gondwana 冈瓦纳大陆
graceful degradation 适度降级
ground state 基态
Hadley cell 哈德莱环流
halo 晕
Heisenberg uncertainty principle
海森堡不确定性原理
High-definition television ， HDTV 高清电视
Internet protocol，IP 互联网协议
Internet service provider ， ISP
网络服务运营商
lab-on-a-chip 芯片实验室
lattice defect 晶格缺陷
light-emitting diode，LED 发光二极管
Local Group 本星系群
loop quantum gravity，LQG 圈量子引力理论
marine sediment 海相沉积岩
Mars Science Laboratory，MSL
火星科学实验室
multichip module 多芯片模块
Multiprotocol Label Switching ， MPLS
多协议标签交换
nanocrystal 纳米晶体
no-till agriculture 免耕农业
paleosol 古土壤
phonon 声子
population inversion 粒子数反转
pump 泵浦
quantum confinement 量子限域
quantum state 量子态
Raman effect 拉曼效应
recession 退行
regenerative braking system 再生制动系统
sedimentary rock 沉积岩
Segway Personal Transporter
赛格威个人运输机
spontaneous emission 自发辐射
spot beam 点波束
Standard-definition television ， SDTV
标清电视
stimulated emission 受激辐射
stimulate 激励
string theory 弦理论
Switched digital video 切换数字视频
synfuel 合成燃料
taphonomy 埋藏学
Video Cassette Recorder, VCR 磁带录像机
4-simplex 4 维单形
8-level vestigial sideband，8-VSB
8 级残余边带

机构名

American Enterprise Institute 美国企业研究所
Defense Advanced Research Projects Agency
美国国防部高级研究项目局
International Panel on Climate Change ， IPCC
政府间气候变化专门委员会
Perimeter Institute for Theoretical Physics
派瑞米特理论物理研究所
United Network for Organ Sharing
美国器官共享联合网络

书刊电影

American Idol 《美国偶像》
American Journal of Epidemiology
《美国流行病学杂志》
Arthritis and Rheumatism 《关节炎与风湿病》
Cancer Research 《癌症研究》
Carcinogenesis 《癌症形成》
Catch-22 《第二十二条军规》
Clinical Cancer Research 《临床癌症研究》
Clinical Gastroenterology and Hepatology
《临床胃肠病学与肝脏病学》
Grey's Anatomy 《实习医生格蕾》
Journal of Alzheimer's disease
《阿尔茨海默病杂志》
Psychological Science 《心理科学》
The Bell Curve 《钟形曲线》
Tonight Show 《今夜秀》
Transplant: From Myth to Reality
《移植：从神话到现实》

销量突破2000万册　畅销度仅次于《新华字典》

电脑报 2006 合订本

连续11年全国最畅销科技图书之一

2000万读者的选择

45元/套

全套上下册+1DVD光盘
+价值1500元正版软件

超值赠送总价值1500元正版软件

价值　60元　瑞星2007（杀毒+防火墙）组合版
价值278元　爱数个人数据保护套装
价值380元　雨过天晴电脑保护系统
价值　38元　用友财智记账本2.0
价值150元　超酷手机软件、网游资源
价值600余元　25款装机必备工具软件（1年免费升级）
金山词霸2007（读者专用版）

惊喜7重巨献

权　　威：IT第一媒体《电脑报》精心编制的大型实用工具书
实　　用：随书附赠相当于7张CD-ROM光盘的超容量DVD
超　　值：联合知名软件厂商随光盘提供总价值1500元正版软件
特别策划：携手中国移动提供手机软件，精心打造移动新生活
特别回馈：著名一线IT厂商2007超值资源大献礼
特别派送：300万份热门游戏道具免费拿
跑跑卡丁车，久游网劲爆足球，刀剑online
特别服务：IT精灵网（合订本互动专区）——资源服务无极限

战略合作　中国移动通信 CHINA MOBILE　Microsoft　Baidu 百度　RISING 瑞星　KINGSOFT 北京金山软件有限公司　JIANGMIN 江民科技　世纪天成　搜狐 SOHU.com　ECS　E1SOO 爱数　讯雷　inspur 浪潮　久游网 9you.com

连续购买《电脑报合订本》您将拥有一套实用的大型电脑文库

全国各地新华书店、书报刊零售点正在热销

欢迎访问IT精灵网：http://www.itdaily.com.cn 精彩活动等着你！